

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Vyhodnocení první a druhé etapy mikrotunelování na projektu
Úslavského sběrače v Plzni

The Assessment of the 1st and the 2nd Microtunnelling Construction
Projects of Uslava's Sewer in Pilsen

Student:

Bc. Ondřej Žárský

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Žárský**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T035 Geotechnika
Téma: Vyhodnocení první a druhé etapy mikrotunelování na projektu
Úslavského sběrače v Plzni
The Assessment of the 1st and the 2nd Microtunnelling Construction
Projects of Uslava's Sewer in Pilsen

Zásady pro vypracování:

Úvod

Popis a průběh I. a II. etapy výstavby

Srovnání obou etap z hledisek:

- podmínky zadání projektu
- geotechnické okolnosti
- projekt
- skutečná realizace
- ekonomické okolnosti

Vyhodnocení a zobecnění poznatků z obou etap realizace

Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Klepsatel, František; Raclavský, Jaroslav. *Bezvýkopová výstavba a obnova podzemních vedení*. Bratislava : JAGA, 2007. ISBN 978-80-8076-053-3.

Stein, Dietrich. *Trenchless Technology for Installation of Cables and Pipelines*. Bochum : Stein&Partner Germany, 2005. ISBN 3-00-014955-4.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.**

Datum zadání: 27.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Anotace

Diplomová práce se zabývá posouzením a vyhodnocením obou etap Úslavského kanalizačního sběrače. Úvodem se práce zmiňuje o historii kanalizačního vedení v Plzni a o současných nově vzniklých potřebách odkanalizování tohoto města. Celý projekt je zajímavý využitím bezvýkopových technologií, konkrétně mikrotunelováním. Práce do detailu princip této metody popisuje a vysvětluje její výhody i nevýhody. Následuje popis obou etap z hlediska inženýrsko-geologického průzkumu s důrazem kladeným na specifické požadavky pro technologii mikrotunelování a geotechnický průzkum. Obě etapy jsou samostatně vyhodnoceny a důležitou součástí práce je i porovnání obou etap z hlediska srovnání použité technologie, geologického prostředí a způsobu realizace. Práce obsahuje i kapitolu zabývající se ekonomickou stránkou projektu, ve které se srovnávají náklady pro možnost provádění stavby otevřeným výkopem a bezvýkopovou technologií. Cílem práce je podat ucelený obraz o proměnlivých geologických podmínkách, rizik spojených s možností povodní a navrhnout opatření vedoucí k minimalizaci finančních ztrát.

Annotation

The diploma thesis deals with the assessment and evaluation of both stages of Uslava's sewer. At the outset, the thesis alludes to the history of the sewer lines in Pilsen and the current needs of the newly created drainage of the city. The entire project is an interesting by using of a trenchless technology, particularly by microtunnelling. The thesis describes in detail the principle of this method and it explains its advantages and disadvantages. Next chapter is a description of both stages in terms of engineering geology survey with emphasis on the specific requirements for microtunnelling technology and geotechnical survey. Both stages are separately analyzed and important part of the thesis is the comparison of the both stages in terms of used technology, geological environment and the method of implementation. Diploma thesis includes a chapter dealing with the economics of the project, which compares the costs for the possibility of implementation an open construction trench and the trenchless technology. The aim of the thesis is to give a comprehensive picture of the varying geological conditions, risk associated with floods and propose measures leading to minimize financial losses.

Klíčová slova

Bezvýkopové technologie, mikrotunelování, výstavba inženýrských sítí, geofyzikální průzkum

Keywords

Trenchless technology, microtunnelling, construction of utility projects, geophysical survey

Obsah

Seznam použitého značení	9
1 Úvod.....	10
2 Historie kanalizace města Plzeň	11
3 Úslavský kanalizační sběrač	13
4 Popis použité mikrotunelovací technologie.....	14
4.1 Stanovení tlačné síly.....	16
4.2 Tlačná stanice	17
4.3 Systém odtěžení.....	18
4.4 Separační a lubrikační soustava	19
4.5 Řídící kabina	20
5 První etapa výstavby Úslavského sběrače.....	22
5.1 Inženýrskogeologický průzkum I. etapy	22
5.1.1 Vrtné a laboratorní práce.....	23
5.1.2 Geofyzikální měření	23
5.2 Geologické poměry I. etapy	24
5.3 Hydrogeologické poměry I. etapy	24
5.4 Geotechnická charakteristika I. etapy	25
5.5 Vrtatelnost a abrazivnost zemin a hornin.....	27
6 Druhá etapa výstavby Úslavského sběrače	28
6.1 Geometrické uspořádání stavebních objektů II. etapy	28
6.2 Geomorfologie a klimatické poměry.....	29
6.3 Inženýrskogeologický průzkum II. etapy.....	29
6.3.1 Rozsah a metodika průzkumných prací	30
6.3.2 Zkoušky dynamickou penetrací	30
6.3.3 Vrtné práce	31
6.4 Geologické poměry a geotechnická charakteristika II. etapy	32
6.4.1 Navážky.....	33
6.4.2 Humózní vrstva	34
6.4.3 Holocenní pokryv soudržných zemin.....	34
6.4.4 Pleistocenní nesoudržné zeminy	35

6.4.5	Proterozoické horniny	36
6.5	Hydrogeologie II. etapy.....	37
6.6	Doplňkový geologický průzkum	37
6.7	Doplňkový geofyzikální průzkum.....	40
6.7.1	Mělká refrakční seismika (MRS)	40
6.7.2	Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)	42
6.7.3	Výsledky doplňkového geofyzikálního průzkumu	45
7	Vyhodnocení I. etapy.....	47
7.1	Použitá technologie	47
7.2	Pažení jam	47
7.3	Použité razicí hlavy	47
7.4	Povodeň	48
8	Vyhodnocení II. etapy	51
8.1	Návrh stavebních jam a jejich zajištění.....	51
8.2	Důsledky ražby v tvrdých horninách	51
8.3	Úprava řezných dlát	52
8.4	Výškové vedení stroje	54
8.5	Ražba na rozhraní štěrku a horniny	55
8.6	Zhodnocení použité technologie v II. etapě	56
9	Poznatky z obou etap	57
9.1	Geologické podmínky	57
9.1.1	Proměnlivost břidlic	57
9.1.2	Výskyt spilitů	57
9.1.3	Abrazivita	58
9.2	Protipovodňová opatření	59
9.3	Návrh inženýrsko-geologického průzkumu	60
9.4	Závěrečné shrnutí	61
10	Ekonomické okolnosti	62
11	Závěr.....	64
	Seznam použitých pramenů	65
	Seznam obrázků	69
	Seznam tabulek.....	70
	Seznam příloh	71

Seznam použitého značení

”	Palce
ČBÚ	Český báňský úřad
ČD	České dráhy
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DEMP	Dielektircké magnetické profilování
DN	Jmenovitý vnitřní průměr potrubí [mm]
EM	Elektromagnetické
F_v	Abrazivita [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-1}$]
HPV	Hladina podzemní vody
IGP	Inženýrsko-geologický průzkum
ISEKI	Společnost vyrábějící mikrotunelovací stroje
JV	Jihovýchodní
JJV	Jiho-jihovýchodní
MRS	Mělká refrakční seismika
MTBM	Microtunnel Boring Machine
Q_d	Specifický dynamický odpor [MPa]
TCC	Telegraphic Cone Crusher
TCC-R	Telegraphic Cone Crusher - Rock
ÚKS	Úslavský kanalizační sběrač
V_{pa}	Paprsková rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
b. m.	Běžný metr
k_f	Koeficient filtrace [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
σ_z	Zdánlivá vodivost [$\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$]
ρ_z	Zdánlivý měrný odpor [Ωm]

1 ÚVOD

Život lidí v Plzni je umožňován kvalitní funkcí technické infrastruktury, na které jsou jednotlivé činnosti ve městě závislé a jejichž absence může podstatně ovlivnit chod města. Rozvoj města Plzně je usměrňován územním plánem města Plzně, který je schvalován zastupitelstvem města Plzně.

Potřeba vodohospodářských investic v Plzni je značná, a to nejen v rámci rozvoje města, ale i pro zabezpečení dodávky pitné vody do stávající zástavby a odkanalizování některých částí města.

Kanalizace v Plzni se potýká zejména s následujícími problémy – odkanalizování některých okrajových částí města, přetěžování kanalizačních sběračů ve vnitřním městě, nedodržování ředících poměrů na odlehčovacích komorách a problémem je i kapacita ČOV a její výstupní parametry.

V rámci projektu Čistá Berounka - etapa II, se sdružilo několik obcí Plzeňského kraje, aby posílilo možnost získání finanční dotace z Evropské unie. V březnu roku 2005 proběhla ustavující schůze tohoto dobrovolného svazku obcí, který přijal název Povodí Berounky.

Předmětem činnosti svazku je příprava a realizace skupinového projektu Čistá Berounka - etapa II s cílem zajistit odkanalizování a čištění odpadních vod, dále zásobování pitnou vodou dle požadavků směrnic Evropské unie a české legislativy ve všech členských obcích svazku v rámci skupinového projektu. Svazek obcí je žadatelem o finanční prostředky ze zdrojů Evropské unie a státního rozpočtu, v případě poskytnutí finanční podpory příjemcem této podpory, investorem a zadavatelem veřejné zakázky na dodavatele a dalších souvisejících zakázek [1].

V současné době probíhá realizace projektu Čistá Berounka - etapa II, na který byla v dubnu 2008 podána žádost o dotaci z operačního programu životního prostředí. Statutární město Plzeň má v akci Čistá Berounka – etapa II zahrnuty projekty: Čistírna odpadních vod II, Retenční nádrž na ČOV I, kanalizaci v Plzni – Radobyčicích a především Úslavský kanalizační sběrač rozdělený do I. a II. etapy [2].

Prudký rozvoj města v posledních dvou desetiletích 19. století si vyžádal řešení odvodnění města v celém komplexu. V roce 1890 bylo při městském stavebním úřadě zřízeno samostatné kanalizační oddělení v čele s dr. ing. Březinou a ing. Radovnickým. Oba stavební odborníci byli roku 1894 vysláni do ciziny, aby získali zkušenosti s navrhováním a výstavbou soustavné kanalizace. Navštívili 21 evropských měst, převážně německých, ale také Varšavu a Budapešť. Získané poznatky aplikovali v r. 1895 v návrhu splachovací kanalizace pro město Plzeň. Do tohoto návrhu byla pojata část tehdy již fungujících stok, které slouží svému účelu dodnes.

Projekt kanalizace byl vypracován velkoryse na podkladě schváleného regulačního plánu i pro plochy určené k zástavbě ve výhledu. Základní použité hydrotechnické podklady byly stanoveny tak, že stoky postavené podle nich dodnes vcelku vyhovují. Generální návrh kanalizační sítě rozdělil město z hlediska odvodnění na dvě výšková pásma, a to dolní a horní. Hranicí mezi pásmy byla hladina velké vody z r. 1845, tehdy největší známé povodně v Plzni. Generální řešení městské kanalizace počítá s jednotnou stokovou soustavou.

Podle tohoto návrhu se kanalizace v Plzni postupně budovala a rozšiřovala. Pozdější úpravy v rámci územních plánů a generelů byly jen kosmetické úpravy. Poslední generel odvodnění města pochází z roku 2005, a je doplňován podle změn územního plánu města.

Z celkové délky kanalizační sítě tvoří přibližně jednu polovinu kruhové stoky, převážně z kameninových trub. Druhou polovinu stok pak tvoří profily vejčité, tlamové a atypické. Přibližně do třicátých let byly vejčité stoky stavěny z cihelného zdiva se žlábkem ze zvonivek, později byly tyto stoky stavěny z betonu se žlábkem ze zvonivek nebo kameniny a čediče. Kanalizační přípojky jsou všechny provedeny z kameninového potrubí, převážná většina dešťových vpustí je rovněž kameninová.

S rozvojem města se stoková síť postupně rozšiřovala, takže v současné době Vodárna Plzeň a.s. provozuje na území města Plzně 500 km kanalizačních stok, 16 000 ks kanalizačních přípojek o délce 125 km, 24 čerpacích kanalizačních stanic, 16 kanalizačních shybek a 83 odlehčovacích komor.

Maximální hloubka uložení kmenové stoky pod terénem je 30 m (Úhlavský kanalizační sběrač). Největší sběrač, přivádějící odpadní vody na čistírnu odpadních vod, je dvoupatrový (spodní a horní pásmo), je 225 cm vysoký a 285 cm široký. Celkem je na kanalizační síť napojeno 98% obyvatel města a veškerý průmysl [3].

3 ÚSLAVSKÝ KANALIZAČNÍ SBĚRAČ

Účelem výstavby kanalizačního sběrače je odkanalizování celého území zástavby městské části Lobzy, Božkov tak, aby bylo zajištěno odvedení všech odpadních vod ze stávající zástavby do městské kanalizace a na městskou ČOV.

Výstavbou kanalizace se řeší základní požadavek na odkanalizování částí Lobež a Božkova, kde ještě není vybudována veřejná kanalizace, nebo jsou odpadní vody přečerpávány.

Trasa sběrače je navržena v souběhu s řekou Úslavou. Staveniště má skloněný až mírně skloněný charakter. Stavba je navržena do stávající zástavby Letné, Lobež a Božkova.

Umístění jednotlivých stavebních objektů bylo navrženo na základě morfologických a prostorových poměrů území, projektu pro stavební povolení Úslavský kanalizační sběrač.

V lokalitách, kde je již vybudován kanalizační systém jednotný, bude tento systém zachován a odpadní vody budou napojeny na sběrač přes záchytné dešťové zdrže. V lokalitách, kde není kanalizační systém doposud vybudován, bude realizován kanalizační systém oddílný. Splaškové vody budou napojeny přímo do sběrače a dešťové vody budou odvedeny do toku.

Pro přehlednost je celá trasa kanalizačního sběrače rozdělena na úseky:

1. úsek	Rokycanská – Božkov	km 0,000 – 3,255
2. úsek	Božkov – Koterov	km 3,255 – 5,966
3. úsek	Koterov – Bručná	km 5,966 – 6,697

Celková délka je tedy 6 697 m, z toho 1. etapa 3 255 m a 2. etapa 3 442 m [4].

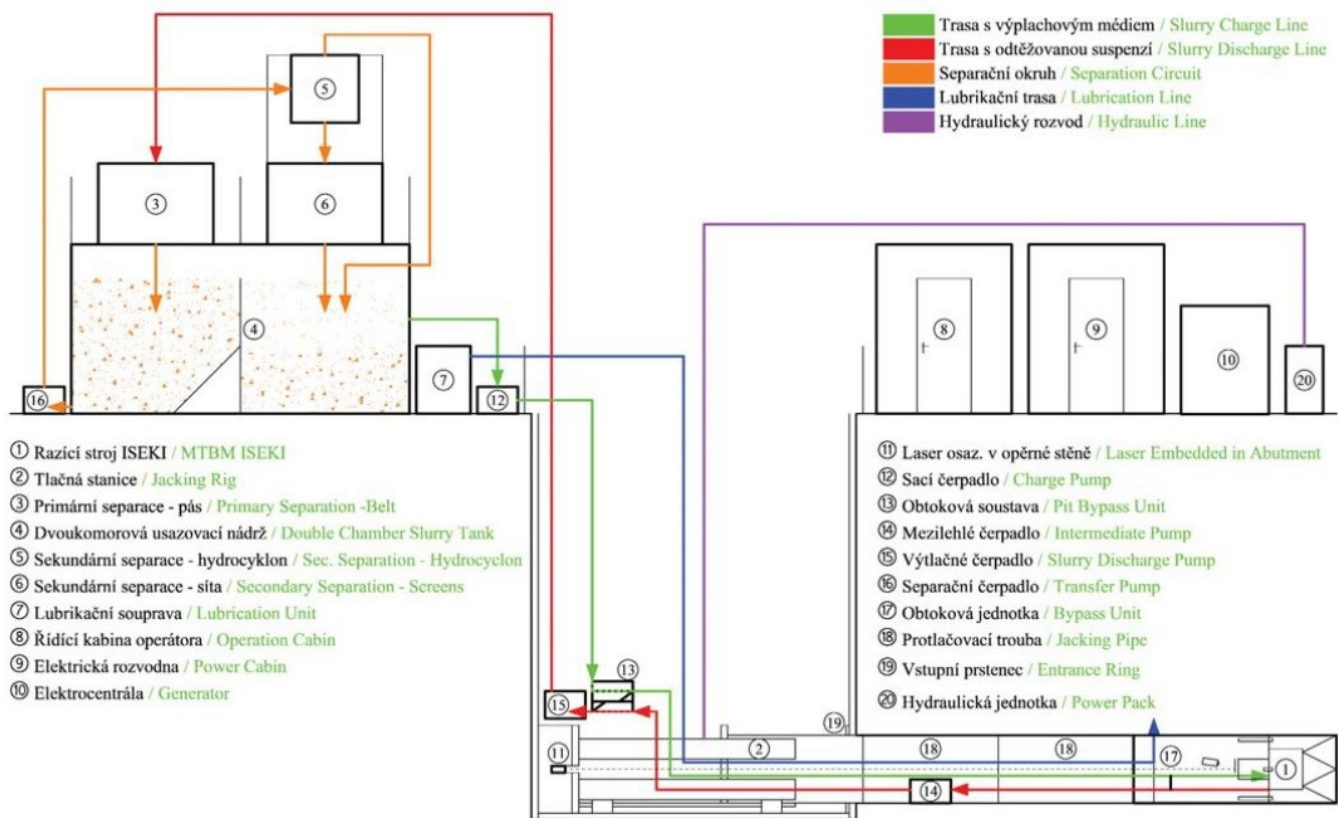
Ražba Úslavského sběrače v Plzni byla připravována dlouhá léta a na její přípravě se vystřídalo několik projekčních kanceláří. I proto byla její realizace ostře sledována odbornou veřejností. V současné době je hotová I. etapa (červenec 2013) a II. etapa je hotova jen z části. Konkrétně se realizovala 1. část bezvýkopovou technologií po šachtu Š61. Další průběh výstavby bude pravděpodobně proveden otevřeným výkopem z důvodu velice špatné geologické stavby a značných ekonomických nákladů při použití bezvýkopové technologie [5].

Unikátní je rozsah bezvýkopových prací, kdy na téměř sedmikilometrovém úseku sběrače bylo navrženo pro 1965 m délky sběrače provádění metodou mikrotunelování, což je dáno zejména geologickými podmínkami. Celkově jsou dle projektu pro realizaci obou etap použity 4 typy profilů o světlostech - 400 mm, 600 mm, 800 mm a 1000 mm. Ve všech případech se použily keramické trouby.

4 POPIS POUŽITÉ MIKROTUNELOVACÍ TECHNOLOGIE

Pro realizaci části Úslavského kanalizačního sběrače byl použit pro profil DN 800 stroj ISEKI Unclemole 980. Výhodou této mikrotunelovací soupravy je její nasazení i v poměrně proměnlivých geologických podmínkách, které byly potvrzeny IGP průzkumem.

Hlava mikrotunelovacího stroje ISEKI Unclemole byla opatřena pevnou trychtýřovou a rotační kuželovou částí, která byla navíc vybavena rameny s řeznými dláty. Tyto dvě komponenty tvoří drtič. Kvůli rovnoměrnému opotřebení řezných dlát docházelo ke změně směru otáčení řezné hlavy stroje.



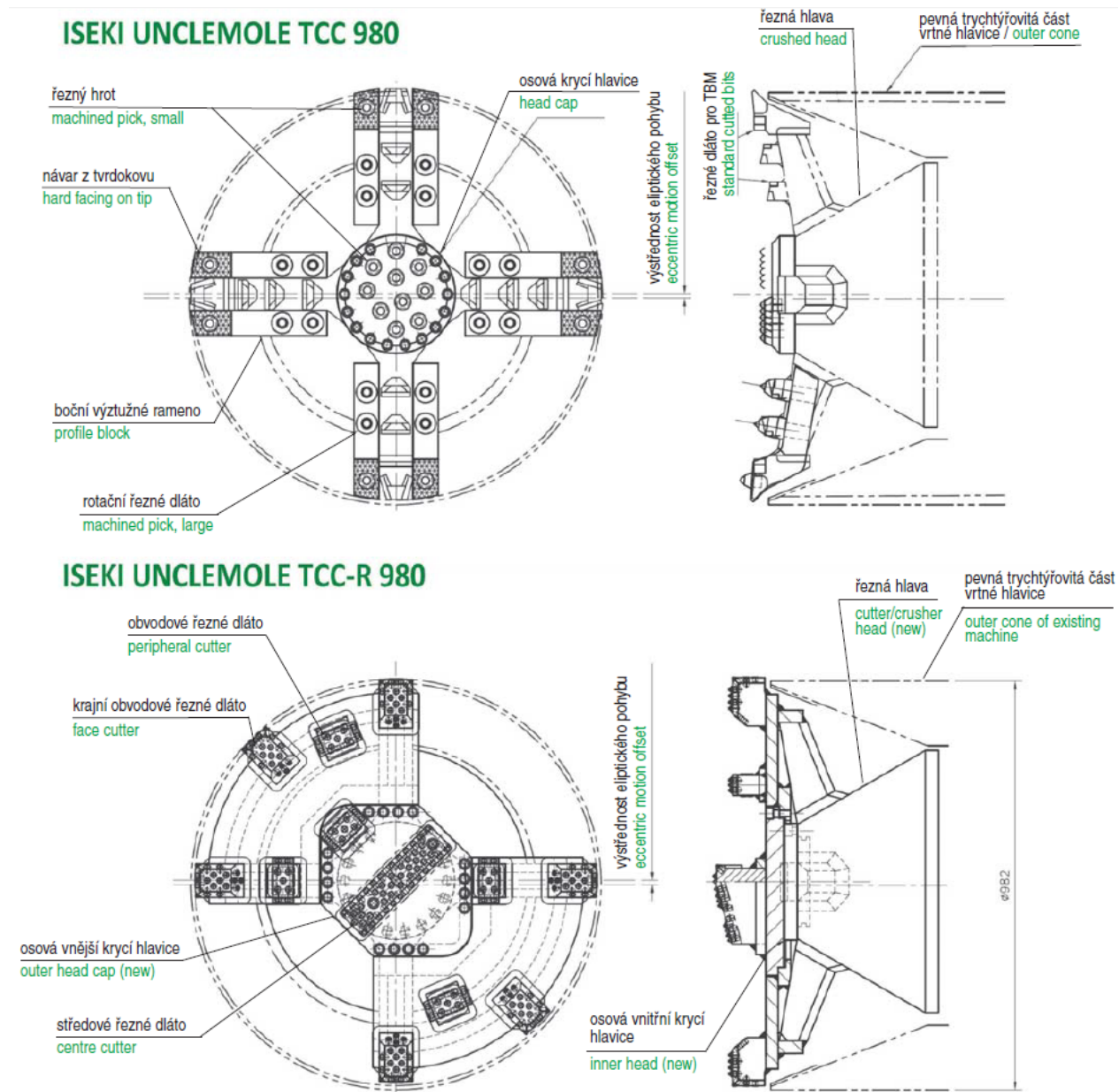
Obr. 2 Schéma mikrotunelovací soustavy [6]

Nejprve bylo zeminové prostředí rozrušeno krouživým pohybem řezných dlát na předsunutých ramenech, poté se zemina dostala hlouběji do hlavy stroje mezi trychtýřovou a rotující kuželovou část drtiče. Princip drtiče je následující – pohyb rotační části není kruhový, ale eliptický, tudíž se rozrušený zemní materiál při průchodu touto částí hlavy stroje drtí na stále menší frakce a zároveň míchá s přiváděným výplachovým médiem. Tato suspenze putuje dále do

stroje skrz štěrbinový otvor v zadní části drtiče až do výplachového potrubí, které je transportováno na povrch do separační soustavy (viz. obr. 2).

Dle výrobce je maximální hodnota pevnosti v prostém tlaku pro nasazení výše uvedené mikrotunelovací hlavy 25MPa. Pro stavbu Úslavského sběrače však toto číslo je nedostatečné, proto musely být provedeny speciální úpravy řezné hlavy, které umožnily razit v horninách s pevností až 50 MPa v prostém tlaku. Další omezení pro použití stroje byl maximální rozměr balvanů, které se mohly ojediněle vyskytnout na trase kanalizace. Tento rozměr odpovídá cca 1/3 průměru řezné hlavy z důvodu průchodu balvanu mezi řeznými rameny přímo do drtiče.

Během II. etapy bylo použito dvou strojů. Jeden je opatřen hlavou do zemin pod názvem TCC (Telegraphic Cone Crusher), který byl speciálně upraven tak, aby mohl být použit pro ražbu v poloskalních horninách. Druhý stroj je přímo vybaven hlavou do poloskalních hornin TCC-R (Telegraphic Cone Crusher – Rock). Obě použité hlavy se liší pouze svým tvarem a rozmístěním řezných dlát, principiálně jsou oba stroje totožné.



Obr. 3 Schéma použitých řezných hlav [6]

4.1 Stanovení tlačné síly

Maximální použitelnou tlačnou sílu by měl stanovit každý výrobce pro daný typ potrubí. Bohužel to tak ale v praxi nefunguje. Výrobce stanovuje maximální osovou sílu, kterou není složité určit. Problém ale nastává při realizaci, kdy maximální tlačná síla vnesená do potrubí in-

situ není osová. Nelze dosáhnout dokonale přímého vedení a vzniká excentricita, která má na maximální tlačnou sílu zásadní vliv.

Pro Úslavský sběrač se použily keramické trouby, u kterých bylo dohodnuto redukovat maximální osově tlačné síly z původních 3700 kN na hodnotu 2900 kN kvůli výše zmíněné excentricitě při protlačování trub. Tato hodnota může být použita jako limitní hodnota pouze za předpokladu splnění mezních směrových odchylek, které dle DIN EN 12889 pro potrubí DN 800 jsou určeny následovně:

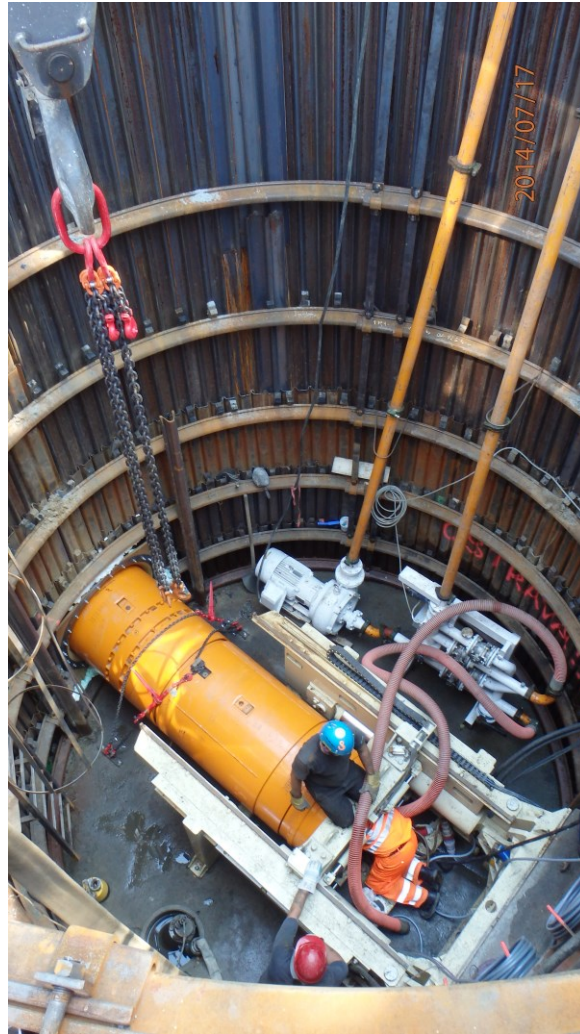
- ± 25 mm ve vertikálním směru,
- ± 40 mm v horizontálním směru

Aby věc nebyla tak jednoduchá, vše je ještě navíc podmíněno požadavkem, kdy odchylky smí být pouze pozvolné. Tato podmínka ale není nikde explicitně definována.

4.2 Tlačná stanice

Tlačné stanice, používané pro zatlačování jednotlivých trub, se liší ve svých rozměrech, maximální tlačné síle, tvarem roznášecí desky, délkou pracovního záběru a počtem stupňů a osazených pístů. Zjednodušeně lze říci, že malé tlačné stanice nedokážou vyvinout dostatečnou sílu pro tlačení potrubí velkého průměru a naopak velké tlačné stanice jsou neefektivní pro zatlačování trub menších rozměrů kvůli nutnosti vybudovat velkou stavební jámu. Navíc tlačná síla těchto stanic nemůže být využita na 100% kvůli hrozbě porušení menších průřezů trub.

Při ražbě 2. etapy ÚKS se používají tlačné stanice s rovnou roznášecí deskou. Tyto stanice mají délku záběru 2,3 m s maximální tlačným zatížením 300 t, ale tato hodnota je uměle omezena na hodnotu zatížení 250 t kvůli zamezení poškození kameninových tlačných trub.



Obr. 4 Tlačná souprava [6]

4.3 *Systém odtěžení*

K odtěžování zemin se používá výplachové médium, které cirkuluje v uzavřeném systému. Nejprve výplach přitéká potrubím ze separačního zařízení, pomocí čerpadla se vhání do šachty, kde se přes obtokové zařízení přivádí k razící hlavě stroje. Obtokové zařízení slouží k odvzdušnění a případně k přesměrování toku výplachu při ucpání.

Médium se mísí s vytěženou zeminou a vzniklá suspenze putuje pomocí mezilehlého čerpadla zpět od řezné hlavy do šachty, odkud se výtlachým čerpadlem dostává opět na začátek celého cyklu - a to do separační kolony.

Je důležité, aby systém odtěžení neustále cirkuloval kvůli možnosti usazování jemnozrnných částic ve výplachovém potrubí. Navíc by v zimním období mohlo docházet

k zamrzání potrubí. Z těchto důvodů je systém odtěžení složen ze dvou okruhů. Druhý obtok umožňuje pomocí integrovaných dálkově říditelných ventilů přesměrovat výplach mimo razicí hlavu. Toho se využívá pro cirkulaci výplachu v době technologických přestávek a také pro udržení potřebného tlaku na čelbě při prodlužování výplachového potrubí. Bez tohoto druhého potrubí by mohlo docházet k destabilizaci čelby a hrnutí zeminy s podzemní vodou do stavební jámy.

Na cirkulaci dohlíží operátor stroje, jehož hlavním úkolem je udržování rovnovážného stavu mezi totálním napětím a napětím na řezné hlavě. Při nízkém tlaku výplachové suspenze by docházelo k zanášení nebo ucpání potrubí. Hodnoty objemového průtoku výplachu nesmí klesnout u 2“ potrubí pod $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a u 3“ potrubí pod $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Naopak při překročení těchto hodnoty by mohlo dojít k unikání výplachového média přes řeznou hlavu do okolní zeminy (především u silně propustných šterkových teras) a v extrému, kdy by tlak média v řezné hlavě překročil hodnotu tlaku vodního sloupce na výšku od řezné hlavy k terénu, by v nepříliš propustném prostředí (např. zvětralé břidlice) mohlo dojít k extrudování směsi na povrchu.

Dále je potřeba regulovat rychlost průtoku. Sací čerpadlo obvykle pracuje na přibližně 50% výkonu, kdežto výtlačné na asi 70%. Při dlouhodobě vyšším zatížení tohoto čerpadla by se mělo do systému osadit mezilehlé čerpadlo - toto platí pro ražené úseky delší než 100m. Výkon mezilehlého čerpadla nelze měnit a tvoří tak v podstatě konstantní přírůstek výkonu čerpadla výtlačného.

4.4 Separační a lubrikační soustava

Součástí každé soupravy MTBM je také systém separace, který slouží k oddělení výplachového média od pevných složek - rozmělněné zeminy. Výplachové médium může tvořit pouze voda, ale častěji se jedná o směs vody s příměsí bentonitů a polymerů. Polymer zabraňuje flokulaci bentonitového výplachu a také pro jeho lepší ředění. Bentonit se používá pro lepší lubrikační vlastnosti protlačovacího potrubí, které se pomocí lubrikační soustavy (míchačka na bentonit, čerpadlo a akumulární nádrž) vhání samostatným potrubím do prostoru za protlačované potrubí. Potrubí o větším průměru než 1,2 m se obvykle lubrikuje po celé délce ražby pomocí jednosměrných ventilů, které jsou osazeny přímo v protlačovaném potrubí.

Princip separační soustavy je následující. Suspenze se pomocí systému potrubí přivádí na pásové síto - primární separaci. Nejhrubší frakce zůstane na sítu a pásem se transportuje na dočasnou skládku, jemná složka skrze síto proteče a dostává se do první ze dvou komor odkalovací nádrže, která má šikmé stěny, aby nedocházelo k usazování hrubšího materiálu podél stěn nádrže. Dále pomocí čerpadla směs putuje z první komory odkalovací nádrže do hydrocyklony, která se nachází nad touto nádrží a je tvořena soustavou osmi trychtýřů, které pomocí odstředivé síly oddělují pevnou složku v suspenzi. Odstředěný výplach putuje do druhé komory odkalovací nádrže, hrubší materiál propadá skrz trychtýře na separační síta, která oddělí pevnou složku na mezilehlou skládku a takto vyčištěný výplach se dostane opět do druhé komory odkalovací nádrže. Z druhé komory se výplach čerpá do výplachového potrubí, odkud se dostává zpět na čelbu a celý cyklus se opakuje.

4.5 Řídící kabina

Celý systém mikrotunelování je ovládán z řídící kabiny, která se obvykle nachází v blízkosti startovací jámy na povrchu. K řízení samotné mikrotuneláže stačí jeden operátor, který využívá z bezpečnostních důvodů 2 monitory, kvůli možnosti poruchy monitoru. Oba dva monitory zobrazují kamerový přenos z razicího stroje. Dále se v řídící kabině nachází monitor pro zobrazení počítačových dat - např. délku vyložení lisů tlačné soustavy, rychlost ražby, směr otáčení řezné hlavy, naklonění stroje, elektrické napětí ve stroji, průtokové množství cirkulujícího výplachu, atd. Informace o chybových hlášeních a zařízeních, která jsou v chodu, se zobrazují na samostatné obrazovce. Veškeré součásti systému jsou ovládány řídícím pultem.

Kamerový přenos z razicího stroje obsahuje:

- záměrný kříž s laserovým ukazatelem, který ukazuje skutečnou polohu zadní části stroje - je rozhodující pro ověření správné polohy stroje. Náklonoměr, který je také součástí systému, udává sklon stroje od pomyslné horizontální roviny, ale ne sklon ražby. Může nastat případ, kdy stroj tzv. plave a při náklonu nahoru může ve skutečnosti klesat.
- stav integrovaných dálkově říditelných ventilů cirkulační soustavy před řeznou hlavou.

- čtení manometrů, které zobrazují tlak výplachového potrubí, tlak podzemní vody, hodnotu efektivního napětí a hydraulického rozvodu.
- stav horního a dolního pístu řezné hlavy. Tyto dva písty a jeden kloub slouží k přichycení řezné hlavy ke stroji. První píst je umístěn na jedné hodině, druhý na pěti hodinách a kloub na devíti hodinách. Toto rozmístění umožňuje natáčení řezné hlavy do libovolného směru.
- natočení stroje - může dojít k otáčení stroje kolem své osy, což je nežádoucí. Operátor je nucen změnit směr rotace řezné hlavy a tím řeznou hlavu vrátit do výchozí polohy.

Nesmírnou výhodou je ukládání všech digitálně zpracovaných dat v PC a díky vysílači MoRoS HSPA jsou přes službu INSYS Connectivity Service dostupná online. Na chybová hlášení tak mohou pohotově reagovat inženýři dodavatele stroje, jejichž pomoc a zkušenost realizační tým nejednou využil.



Obr. 5 Řídicí kabina a separační soustava na povrchu [6]

5 PRVNÍ ETAPA VÝSTAVBY ÚSLAVSKÉHO SBĚRAČE

Trasa hodnocené kanalizace začíná v Plzni – Doubravce u křižovatky Rokycanské a Jateční ulice, odkud je vedena jižním směrem v souběhu s řekou Úslavou, převážně po jejím levém břehu. Konec hodnoceného úseku sběrače se nachází v městské čtvrti Božkov v ulici K Jezu. Součástí projektu je také výstavba napojení některých čerpacích stanic a retenčních nádrží na realizovaný sběrač. Hloubka uložení kanalizačního potrubí se pohybuje mezi 2 m až 16 m pod současným terénem, místy je podcházeno říční koryto Úslavy.

V převážné části sběrače je trasa vedena v nezastavěném záplavovém území podél koryta řeky Úslavy. V severní části území se v počátečním úseku trasa nachází v okolí stávajících komunikací a průmyslových objektů. V jižní části sběrače je jeho trasa zčásti vedena v zástavbě městské části Božkov (stávající komunikace, průmyslové a obytné objekty).

Nadmořská výška hodnocené kanalizace se pohybuje mezi 305 až 316 m n. m. Vyjímku tvoří výrazná morfologická elevace o nadmořské výšce 322 m n. m. V blízkosti komunikací je morfologie původního terénu často upravena antropogenní činností pomocí navážek.

Pro realizaci I. etapy bylo použito otevřeného výkopu v délce 1148 m, ražba mikrotunelováním pak v délce 2107 m za použití profilů o světlosti 600, 800 a 1000.

5.1 Inženýrskogeologický průzkum I. etapy

Pro IGP průzkum 1. etapy Úslavského kanalizačního sběrače byly použity především tyto materiály – rešerše archivních údajů (Hejnák – Agro Geologie, 2005) a Inženýrskogeologický průzkum pro akci Čistá Berounka II – Úslavský kanalizační sběrač (EarthTech, 2006). Při zpracování výsledků průzkumných prací byla dále využita geologická mapa M 1 : 50000 list 12-33 Plzeň. Všechny tyto podklady byly shrnuty do závěrečné zprávy [7].

Průzkumné práce byly rozděleny na 2 samostatné části, které zahrnují celkem 6 průzkumných lokalit. V první fázi, zrealizované v roce 2009, byly provedeny průzkumné práce na lokalitách Rokycany – Borek a Blovice. Do druhé fáze byly zařazeny lokality Plzeň - Radobyčice, Přeštice, Zruč – Senec a Plzeň - Úslavský sběrač.

5.1.1 Vrtné a laboratorní práce

Na lokalitě bylo realizováno celkem 23 jádrových průzkumných vrtů označených JV1 až JV23. Vrty byly provedeny do hloubky 5 m až 18 m, celková metráž dosáhla 174 bm.

Z provedených sond bylo odebráno celkem 15 porušených vzorků zemin, 2 vzorky skalních hornin a 10 vzorků podzemní vody. Vzorky zemin byly odebírány v kvalitě třídy 3. – 4. dle postupů v normě [8]. Všechny tyto vzorky zaříděny dle platných norem [9] a [10].

Tab. 1 - Zařídění odebraných vzorků

Označení vrtu	Hloubka [m]	ČSN 73 1001	ČSN ISO 14 688-2	Makroskopický popis zeminy
JV1	5,1 - 5,3	F4 CS	sasiCl	jíl písčitý, hnědozelený, tuhý
JV2	1,5 - 1,6	S4 SM	siSa	písek hlinitý, hnědý
JV3	3,0	F1 MG	sagrCl	hlína štěrkovitá, slabě písčitá, tmavě šedá, měkká
JV4	3,8 - 4,1	S3 S-F	grSa	písek štěrkovitý, hnědošedý
JV5	4,0 - 4,1	S4 SM	siSa	písek hlinitý, hnědožlutý
JV6	4,4 - 4,6	F4 CS	sasiCl	jíl písčitý, černošedý, pevný
JV9	1,5 - 1,7	S3 S-F	grSa	písek štěrkovitý, hnědošedý
JV10	2,0 - 2,2	G3 G-F	saGr	štěrk písčitý, rezavohnědý
JV12	11,8 - 12,0	G3 G-F	saGr	štěrk písčitý, černý
JV14	4,8 - 5,0	G3 G-F	saGr	štěrk písčitý, hnědý
JV15	5,7 - 6,0	G4 GM	sacIGr	štěrk hlinitý, slabě písčitý, vápnitý, černý
JV18	6,2 - 6,4	F4 CS	sasiCl	jíl písčitý, černošedý, pevný
JV19	6,15 - 6,3	G4 GM	sasiGr	štěrk hlinitý, slabě písčitý, šedý
JV21	5,9 - 6,0	S4 SM	grsiSa	písek hlinitý, slabě štěrkovitý, šedý
JV23	7,1 - 7,3	F4 CS	clSa	jíl písčitý, černý, tuhý

5.1.2 Geofyzikální měření

Geofyzikální měření bylo provedeno při severním úpatí výrazné elevace v úseku trasy Úslavského kanalizačního sběrače km 2,050 – 2,300. Cílem geofyzikálního měření bylo zjistit průběh povrchu pevného skalního podloží a ověření jeho charakteru.

Měření bylo provedeno pomocí metod multielektrodeového odporového profilování a mělké refrakční seismiky (MRS, viz. kapitola 6.7). Multielektrodeové profilování bylo provedeno na profilu délky 220 m zhruba v úseku trasy kanalizace km 2,080 – 2,300.

5.2 Geologické poměry I. etapy

Území podél řeky Úslavy leží při východním okraji plzeňské permokarbonské pánve. Inženýrsko-geologický průzkum ukázal v převážné části předkvartérní podklad převážně jílovitoprachovitých břidlic. Zajímavostí v nadloží břidlic je výskyt karbonských arkozových pískovců v přibližné délce 700 m jižně od mostu na Doubravce.

Zastižené břidlice svrchního protezoika jsou místy silicifikované, s tenkými křemennými žilkami. Břidlice jsou místy tektonicky značně porušené, silně rozpukané a ve svrchních partiích značně zvětralé. Jejich pevnost se pohybuje od třídy R3 až po třídu R5 dle [9] podle stupně zvětření.

Karbonské arkózy a pískovce se vyskytují místy s příměsí drobných valounů nebo uhelnou příměsí od 0,5 do 2,0 cm. Při povrchu mají charakter jílovitého a hlinitého písku.

Holocénní náplavy řeky Úslavy jsou tvořeny fluviálními sedimenty, které jsou zastoupeny jemnozrnnými a písčitými zeminami. Dají se charakterizovat jako hlíny, jíly nebo písky s valouny šterku nebo organickou příměsí.

Pod těmito náplavami se nachází v celém rozsahu nivy vrstva šterků údolního dna, která bývá v převážné části mocnosti zvodnělá. Obvykle jde o značně hrubé až kamenité šterky a šterky písčité s polohami jílovitého šterku, písčitého jílu a jílovitého písku.

Okrajově byly zachyceny svahové hlíny charakteru písčité hlíny s příměsí úlomků nebo valounů a sprašové hlíny typu nevápnitých jemnozrnných hlinitých písků.

Na povrch vystupují ve značném rozsahu i mocnosti antropogenní navážky a násypy, které jsou rozšířeny v okolí mostů v Božkově, v Lobzech a na Doubravce. Severně od hlavní komunikace na Doubravce tvoří navážky až 8 m mocnou vrstvu složenou z popele a komunálního odpadu (organické zbytky, cihly, kameny a jiné).

5.3 Hydrogeologické poměry I. etapy

Zájmové území, co se týče hydrogeologických poměrů, je relativně složité. Hlavní oběh podzemní vody je vázán na terasové sedimenty a podložní silně rozpukané proterozoické horniny. V prostoru údolní nivy řeky Úslavy je horninové prostředí s úrovní podzemní vody téměř s povrchem.

Hodnoty koeficientu filtrace se řádově pohybují od hodnot $k_f = n \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (pro eluviální břidlice charakteru jílovitopísčitých zemin) až $n \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (zahliněné písčité štěrky) v závislosti na vlastnostech horninového prostředí.

V údolní nivě je podzemní voda v hydraulické spojitosti s vodou v řece a v průběhu roku bude úroveň ustálené hladiny kolísat v závislosti na úrovni hladiny povrchové vody. Hladina podzemní vody je v tomto prostředí často mírně napjatá z důvodu překrytí slabě propustnými sedimenty holocenních náplavů.

Vliv antropogenních činností ovlivňuje režim podzemních vod především v zastavěném území. Vlivem zpevněných ploch na jedné straně kanalizace mohou srážkové vody na straně druhé infiltrovat do horninového prostředí a vytvářet tak lokální souvislou hladinu podzemní vody mělce pod povrchem. Přirozené zvodně mohou být dotovány těmito pseudozvodněmi, také skrz zásypy starých inženýrských sítí nebo nekontrolované úniky z netěsností stávajících vodovodních a kanalizačních řádů.

V zájmové lokalitě bylo v rámci zjištění chemismu podzemních vod zkoumáno 10 odebraných vzorků, u kterých byla zjištěna zkráceným laboratorním rozbořem agresivita na stavební konstrukce a obsah agresivního CO_2 pomocí výpočtu. Dle platné normy [11] mají 4 vzorky slabou a 1 vzorek vody střední agresivitu, způsobenou vysokým obsahem síranů a agresivního CO_2 .

5.4 Geotechnická charakteristika I. etapy

Na základě rešerší získaných z archivních materiálů, dokumentace nově provedených průzkumných vrtů a výsledků laboratorních zkoušek bylo v zájmové lokalitě vytvořeno několik geotechnických typů zemin a hornin s podobnými geotechnickými vlastnostmi. Z tabulky č.2 je nejdůležitější povšimnout si vlivu příměsí na těžitelnost jednotlivých hornin.

Tab. 2 – Přehled geotechnických typů včetně těžitelnosti

Geotechnický typ		Geologické stáří	Stručný popis zemin a hornin	Zatřídění dle ČSN 73 1001	Třída těžitelnosti dle ČSN 73 3050
Označení	Název				
GT1 - An	antropogenní navážky	recent	značně variabilní, hlinité a jílovité, hlinito-kamenité, často se stavebním odpadem	Y	2. - 5.
GT2 - Qh	holocenní náplavy	kvartér - holocén	hlína a jíl, písčité hlína a jíl, hlinitý a jílovitý písek, lokálně s příměsí valounů, místy s organickou příměsí	F6/CI, F5/MI, F4/CS, F3/MS, S5/SC, S4/SM + O, g	2. - 4.
GT3 - Qt	terasové sedimenty	kvartér - holocén - pleistocén	štěrk písčité až jílovitopísčité, hlinitý a jílovitý štěr, často s kameny až balvany, písek a jílovitý písek se štěrkem	G2/GP, G3/C-F, G5/GC, G4/GM, G5/GC, S3/S-F + cb, b	3. - 5.
GT4 - Qd	svahové hlíny	kvartér - holocén - pleistocén	písčité hlína, pevná až tuhá, hlinitý písek, s příměsí úlomků, břidlic a valounů	F3/MS, S4/SM + g	2. - 3.
GT5 - Kp	arkózy a pískovce rozložené	paleozoikum - karbon	arkózy a pískovce rozložené, charakter jílovitého a hlinitého písku, místy s drobnými valouny	R6 (S4/SM, S5/SC, S3/S-F, G5/GC)	3. - 4.
GT6 - Pe	břidlice rozložené až silně zvětralé	svrchní proterozoikum	jílovitoprachovité břidlice, rozložené až silně zvětralé, charakteru písčitého jílu s úlomky až jílovitého štěrku	R6 - R5 (F4/CS, F2/CG, S5/SC, G5/GC)	3. - 4.
GT7 - Pz	břidlice zvětralé až slabě zvětralé	svrchní proterozoikum	jílovitoprachovité břidlice, zvětralé až slabě zvětralé, silně rozpukané, úlomkovitě rozpadavé	R4 (R5)	4.
GT8 - Pm	břidlice navětralé až zdravé	svrchní proterozoikum	jílovitoprachovité břidlice, fylitické, navětralé až zdravé, rozpukané, tence deskovitě odlučné, prokřemenělé	R4 - R3	4. - 5.

5.5 Vrtatelnost a abrazivnost zemin a hornin

Pro technologii mikrotunelingu byla vypracována tabulka se zatříděním jednotlivých geotechnických typů podle jejich vrtatelnosti na základě technických podmínek [12].

Tab. 3 – Rozdělení zemin a hornin dle vrtatelnosti

Geotechnický typ	Název	Třída vrtatelnosti	
		Vrty, piloty, rýhy	Injekční vrty
GT1 - An	Antropogenní navážky	I. - II.	I. - II.
GT2 - Qn	Holocenní náplavy	I.	I.
GT3 - Qt	Terasové sedimenty	I. - III.	I. - III.
GT4 - Qd	Svahové hlíny	I.	I.
GT5 - Kp	Arkózy a pískovce rozložené	II.	I. - II.
GT6 - Pe	Břidlice rozložené až silně zvětralé	II.	I. - II.
GT7 - Pz	Břidlice zvětralé až slabě zvětralé	II. - III.	II. - III.
GT8 - Pn	Břidlice navětralé až zdravé	III. - IV.	III.

Stanovení vrtatelnosti vychází z Katalogu popisů a směrných cen stavebních prací 800-2 z roku 1999 pro vrty, piloty, rýhy podzemních stěn nebo injekční vrty. Zvláštnosti mikrotunelování lze zanedbat a použít tak toto zatřídění i pro tuto technologii.

Pro vrtatelnost se používá rozdělení do šesti tříd podle rychlosti pronikání vrtného zařízení horninou. Pro každou třídu je stanovena referenční hornina, podle které se přibližně zatřídí zkoušené vzorky. Všechny horniny by se měly posuzovat v čerstvém nezvětralém stavu, pokud nejde o sypké sedimenty.

V rámci bezvýkopové technologie byly při realizaci kanalizačního sběrače zastiženy především terasové sedimenty (GT3 – Qt) a horniny předkvartérního podloží. Vyšší třídy vrtatelnosti byly v důsledku výskytu kamenité až balvanité frakce (převážně bulžňákové valouny o velikosti 15 cm až 20 cm, III. třída) a hlavně vlivem prokřemenění (IV. třída).

Byly provedeny zkoušky abrazivnosti a stanoveny orientační hodnoty $F_v = 1,8 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-1}$ až $2,2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-1}$ pro jílovitoprachovité břidlice až po $F_v = 5,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-1}$ pro šterkové valouny s velkým obsahem křemíku [7].

6 DRUHÁ ETAPA VÝSTAVBY ÚSLAVSKÉHO SBĚRAČE

Druhá etapa, konkrétně její první fáze, byla zahájena v roce 2014. Začátek úseku odkanalizování (staničení km 0,000) se nachází v městské části Plzeň - Božkov, na ulici K Jezu. V prostoru městské zástavby pokračuje v tělese komunikace této ulice a dále mimo zástavbu v souběhu s místní komunikací až do prostoru údolní nivy řeky Úslavy, kterou ve staničení přibližně km 1,325 podchází protlakem. Následně pokračuje po lukách údolní nivy až do městské části Koterov. Zde opět podchází řeku Úslavu ve staničení cca km 2,325 mezi ulicemi Na Břehu a Na Lipce. Odtud trasa kanalizace pokračuje podél silnice až do prostoru křížení s tratí ČD Plzeň - České Budějovice. Podél trati je sběrač veden do asi km 3,390, kde trať protlakem podchází. Za tratí kanalizační sběrač ve staničení km 3,445 v prostoru chatové oblasti končí.

Celkově by mělo být realizováno 2,3 km kanalizace z kameninových trub DN 800 pomocí mikrotunelingu. Počet vybudovaných revizních šachet by měl dosáhnout čísla 41 o hloubkách od 3,5 m do 7,7 m. Z důvodu podchodu kanalizace pod řekou Úslavou je nutné použít tvárnou litinu o profilu DN 800 na délku 30 m. Dalšími profily na trase sběrače je DN 400 z kameniny v délce 78 m a DN 250 opět z tvárné litiny. V neposlední řadě je součástí projektu odlehčovací komora a obslužná komunikace pro přístup k revizním šachtám.

Projekt uvažuje s gravitačním tokem kanalizačního sběrače, proto je nejdůležitější správné a hlavně přesné osazení kanalizačních trub. Tento nejdůležitější faktor má být splněn použitím bezvýkopové technologie pomocí zařízení MTBM.

Celé dílo mělo být dokončeno v polovině roku 2015. Bohužel se tak nestalo z důvodů soudních sporů kvůli značným vícepracím způsobených velice proměnlivou geologií na trase kanalizace. Ke konci října 2015 mělo dojít k předání stavby zhotoviteli, který má ve stavbě pokračovat pravděpodobně za použití otevřeného výkopu [5].

6.1 *Geometrické uspořádání stavebních objektů II. etapy*

Celý ražený úsek o délce přibližně 2,3 km je rozčleněn na dílčí úseky mezi 39 hloubených stavebních jam hlubokých 3,5 až 7,7 metrů. Tyto jámy byly podle účelu rozděleny do tří kategorií - jámy startovací, cílové a průběžné. Ražba je realizována vždy ze startovací jámy na obě strany směrem k jámám cílovým, ze kterých se stroj vytahuje na povrch. Jámy průběžné nemají pro ražbu žádné technologické opodstatnění, slouží pouze pro osazení revizních šachet. Jsou

prováděny dodatečně až po zatlačení potrubí. Jednotlivé ražené úseky mají délku od 30 do 140 metrů a konstantní sklon 3,5 ‰.

6.2 Geomorfologie a klimatické poměry

Zájmová oblast se přibližně nachází v JV až JJV části města Plzeň. Trasa projektované kanalizace prochází přes katastrální území Božkov, Koterov a Bručná. Mimo zastavěné části Božkova a Koterova je trasa navržena převážně přes zemědělsky využívané pozemky.

Morfologicky lze označit zájmovou oblast jako údolní (nivní) s mírně sklonitým terénem erozivního údolí řeky Úslavy. Z pohledu geomorfologického členění zkoumané území náleží do regionálně západní části barrandienské zóny českého algonkia při východním okraji Plzeňské kotliny, do které stékají řeky Úslava, Úhlava, Radbuza a Mže.

Území se řadí do klimatické oblasti MT 11, která je charakterizována dlouhým, teplým a suchým létem. Přechodné období je krátké s mírně teplým jarem a podzimem. Zima bývá obvykle krátká, mírně teplá a velmi suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Průměrná roční teplota je 7,8 °C. Průměrný roční úhrn srážek ve stanici ČHMÚ Plzeň činí 518 mm, roční průměrné maximum sněhové pokrývky dosahuje přibližně 15 až 20 cm.

Orientační hloubka promrzání stanovená na základě návrhové hodnoty indexu mrazu I_{md} se pohybuje mezi 1,03 m až 1,20 m [13].

6.3 Inženýrskogeologický průzkum II. etapy

Hlavním cílem IGP je ověření geologické stavby a základních hydrogeologických poměrů zájmového území se zaměřením na tyto okolnosti:

- charakteristiku zastižených hlavních litologických typů pokryvných útvarů
- určení tříd těžitelnosti zemin a hornin
- geotechnickou interpretaci zjištěných skutečností
- ověření mělké hydrogeologické stavby
- stanovení chemické charakteristiky a stupně agresivity podzemní vody na stavební konstrukce

6.3.1 Rozsah a metodika průzkumných prací

Před samotným provedením vrtů byla provedena rekognoskace zájmového území a prostudování podkladů. Nakonec bylo provedeno 5 vrtů a 4 dynamické penetrace do hloubek 4 m až 7 m dle požadavků objednatele. Z vrtů byly odebrány vzorky, které byly dále zkoušeny v laboratoři.

V minulosti byla v blízkém okolí trasy kanalizace provedena řada inženýrskogeologických a hydrogeologických průzkumů. Pro posouzení geologické stavby zájmového území byly vybrány nejbližší vrty. Byly použity posudky od roku 1962 do roku 2010.

Realizované průzkumné sondy byly geodeticky zaměřeny tak, aby pravidelně pokryly celou zájmovou trasu [14].

6.3.2 Zkoušky dynamickou penetrací

Pro zjištění normových charakteristik a zjištění ulehlosti nesoudržných zemin in situ byla použita těžká dynamická penetrace, provedená ve čtyřech místech po trase budoucí kanalizace.

Zkoušky byly prováděny bez zjišťování plášťového tření, které bylo částečně eliminováno pootáčením soutyčí v průběhu realizace zkoušek. U všech sond bylo použito soutyčí s pevným hrotem.

Cílem zkoušky je zjistit počet úderů potřebných pro zaražení hrotu o 10 cm (hodnota N10), která se přepočítá na specifický dynamický odpor Q_d dle vztahu [15]:

$$Q_d = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot \frac{m_1 \cdot h \cdot g \cdot n \cdot 4}{\pi \cdot d^2 \cdot 0,1}$$

m_1 ... hmotnost beranu

m_2 ... hmotnost kovadliny a dvou tyčí

(hodnota m_2 se každý celý metr zvyšuje o hmotnost jedné tyče)

h ... výška pádu beranu

d ... průměr penetračního hrotu

n ... počet úderů na 0,1 m

Pomocí výpočetního programu se provedl přepočet příslušné hodnoty N10 na příslušnou hodnotu dynamického odporu zeminy Q_d . Dále byly vypočteným hodnotám Q_d přiřazeny na

základě korelačních vztahů podle typu dané zeminy následující hodnoty mechanicko-fyzikálních vlastností:

- nesoudržné zeminy - index relativní ulehlosti I_D (-), modul přetvárnosti E_{def} (MPa) a efektivního úhlu vnitřního tření φ_{ef} (°)
- soudržné zeminy - totální soudržnost c_u (kPa), stupeň konzistence I_c (-) a modul přetvárnosti E_{def} (MPa) při $\varphi = 0^\circ$

Realizované sondy dosáhly hloubek 2,9 až 6,0 m. Celkem bylo provedeno 18,5 m penetrací.

Tab. 4 – Ukázka vyhodnocení dynamické penetrační zkoušky

SUDOP Pardubice s.r.o. 530 35 Pardubice, K Vápence 2677		DYNAMICKÁ PENETRAČNÍ ZKOUŠKA		US DP4	
Měřil:	M. Peko	Hloubka sondy [m]:	4.60	Počet měř. úderů:	Y= 819 257.55
Typ soupravy:	SDP 20/1	Hlad. podz. vody [m]:	HI.=1.00		X= 1 073 094.56
Datum zkoušky:	18.08.2011	Krok penetrování [m]:	Z = 317.05	Penetrační odpor:	Z= 318.05
					Souř. systémy: JTSK / Balt
Tabulka penetrace			Graf penetrace		Geologická charakteristika
Hloubka [m]	Počet úderů měř.	red.	Qdyn [MPa]	Hl. Počet úderů [], Krout. moment [Nm], Pen. odpor [MPa], Modul Edef [MPa]	
0.1	0.2	1	1.0	1.2	
0.3	0.4	1	0.0	0.0	
0.5	0.6	1	1.0	1.2	
0.7	0.8	1	1.0	1.2	
0.9	1.0	1	1.0	1.2	
1.1	1.2	2	5.0	7.0	
1.3	1.4	5	5.0	7.0	
1.5	1.6	6	5.0	6.0	
1.7	1.8	2	5.0	5.0	
1.9	2.0	1	1.0	1.1	
2.1	2.2	3	3.0	3.9	
2.3	2.4	4	5.0	6.4	
2.5	2.6	5	7.0	9.0	
2.7	2.8	5	5.0	6.4	
2.9	3.0	10	10.0	9.5	
3.1	3.2	16	16.0	15.3	
3.3	3.4	16	16.0	15.3	
3.5	3.6	16	16.0	15.3	
3.7	3.8	19	19.0	18.1	
3.9	4.0	12	12.0	10.7	
4.1	4.2	15	15.0	13.4	
4.3	4.4	47	25.0	23.1	
4.5	4.6	120	157.0	106.8	
				139.7	
Název akce: Plzeň Božkov - Koterov, Úslavský kanalizační sběrač - 2. etapa				Měřítko: 1:100	Zak. číslo: 11 080
Dokumentoval: M. Peko		Vyhodnotil: M. Peko		Zpracoval: M. Peko	Příloha č.: US DP4

6.3.3 Vrtné práce

V rámci vrtných prací bylo provedeno 5 vrtů pod následujícím označením - US V1, US V3, US V7, US V10 a US V11. K jejich hloubení bylo použito technologie rotačního jádrového vrtání bez výplachového média pomocí tvrdokovových korunek o průměru 156 mm až 195 mm. Ve zvodnělých a nestabilních vrtech muselo být použito technologické pažení.

Okamžitě po vyhloubení byla provedena prvotní geologická dokumentace a fotodokumentace vrtného jádra uloženého do typizovaných dřevěných vzorkovnic.

Na čerstvě vytěžených vrtných jádrech byly změřeny hodnoty neodvodněné pevnosti v prostém tlaku ručním penetrometrem. Měření slouží k upřesnění konzistence zemin a tím i k zpřesnění návrhu normových charakteristik soudržných zemin.



Obr. 6 Vrtný výnos ze sondy US V1 (6.00 - 0.00 m) [16]

6.4 Geologické poměry a geotechnická charakteristika II. etapy

Území II. etapy ÚKS přísluší k západnímu okraji Barrandienu z regionálně geologického hlediska. Z pohledu stáří se jedná o proterozoikum - mladší algonkium, středního stupně spilitové série. Vyskytují se zde slabě metamorfovaných břidlice, které jsou zastoupeny fylitickými a jílovitými břidlicemi s polohami četných grafitických a kyzových břidlic. Dále se vyskytují prachovce, droby, hojně tufy a tufity s prokřemenělými vložkami hornin (buližníků a silicitů) a s proniky bazaltových vulkanitů, především spilitů.

V největší míře jsou zastiženy především grafitické břidlice, místy silně tektonicky postižené s žilkami křemene a impregnací pyritem. V menší míře lze narazit na fylitické břidlice.

V břidlicích lze místy očekávat silné přítoky agresivní podzemní vody. V závěrečné části trasy se vyskytují silicity tvořící polohy mocné od decimetrů do stovek metrů.

Mocnost náplav údolní terasy je předpokládána v maximálním rozmezí mocnosti od 10 m do 12 m. Vyšší šterková terasa, ve svazích a temenu údolí, je v zájmové oblasti poměrně menší a také značně kolísavých mocností. Mladoplesitocenní část náplavu je tvořena hrubozrnnými polymiktními šterky (např. krystalické vápence nebo bulžníky) o průměrné velikosti od 10 cm do 30 cm. Holocenní část náplavu tvoří náplavové hlíny a jíly místy se šterkovými zrny.

6.4.1 Navážky

Navážky se nepravidelně vyskytují v celé zájmové oblasti trasy kanalizace a jsou spojeny nejčastěji se stavební činností. Nejmocnější vrstvy byly zastiženy u přemostění Úslavy u Koterova (mocnost do 2,30 m). Jedná se o soudržné zeminy třídy F3 - F5 Y a F4 + Cb Y jílovito-hlinitého charakteru s valouny a kameny do velikosti 7 cm, dále obsahují úlomky cihel a břidlic. V menší míře se vyskytují před začátkem trasy do hloubky 1,80 m zeminy S4 SM Y, níže G4 GM Y. Celou trasu sběrače doprovázejí málo mocné navážky G4 GM Y, G3 G-F Y a Y.

Tab. 5 – Zatřídění navážek dle geotechnických vlastností

Geotechnický typ		Půdně - mechanické vlastnosti		Zatřídění dle ČSN 73 1001	Třída těžitelnosti dle ČSN 73 3050
Označení	Název				
GT1	antropogenní navážky	objemová tíha	$\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$	S4/SM, G4/GM	2. - 3.
		úhel vnitřního tření	$\phi = 26,0^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{ef} = 10,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{def} = 15,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,35$		
GT2	antropogenní navážky	objemová tíha	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$	S4/SM, G4/GM, S5/SC	2. - 3.
		úhel vnitřního tření	$\phi = 26,0^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{ef} = 3,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{def} = 9,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,33$		
GT3	antropogenní navážky	objemová tíha	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$	S4/SM, F3/MS, F4/CS, F5/ML, místy + Cb	1. - 3.
		úhel vnitřního tření	$\phi = 25,0^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{ef} = 9,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{def} = 9,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,35$		

6.4.2 Humózní vrstva

Jedná se zástupce tzv. kulturního horizontu, případně původního rostlého terénu. Plošně se vyskytuje mimo zastavěné území po celé délce trasy kanalizace. Převažující zeminy jsou hlína písčité, hlína jílovitá s hojnými polozetlelými organickými zbytky a kořeny rostlin.

Tab. 6 – Zatřídění humózních zemin dle geotechnických vlastností

Geotechnický typ		Půdně - mechanické vlastnosti		Zatřídění dle ČSN 73 1001	Třída těžitelnosti dle ČSN 73 3050
Označení	Název				
GT4	zeminy humózní vrstvy	objemová tíha	$\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$	F3/MS + O, F5/ML + O	2.
		úhel vnitřního tření	$\phi = 19,0^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{ef} = 12,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{def} = 4,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,40$		

6.4.3 Holocenní pokryv soudržných zemin

Holocenní zeminy se vyskytují prakticky v celé trase sběrače mimo míst s výskytem navážek nebo v přechodových místech s písčito-hlinitým charakterem sedimentů. V údolí řeky Úslavy vytvářejí tyto zeminy nadloží terasových šterkopísčitých sedimentů. V prostoru údolní nivy převažují fluvialní sedimenty do hloubky 3,0 m. Jmenovitě se jedná o jíly písčité, místy jíly hlinité a lokálně hlína s vysokou plasticitou. Zeminy sporadicky obsahují zrna a valouny šterků do velikosti až 15 cm.

Konzistence zemin je variabilní. Při povrchu zkoušky in-situ i laboratorní rozborů prokázaly konzistenci pevnou až tuhou, v místě přiblížení k hladině vody pak konzistenci měkkou.

Tab. 7 – Zatřídění zemin holocenního pokryvu dle geotechnických vlastností

Geotechnický typ		Půdně - mechanické vlastnosti		Zatřídění dle ČSN 73 1001	Třída těžitelnosti dle ČSN 73 3050
Označení	Název				
GT5	zeminy holocenního pokryvu	objemová tíha	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$	F3/MS, F4/CS, F5/ML, F6/CI, F7/MH, místy +Cb, B	2. - 3.
		úhel vnitřního tření	$\phi_{ef} = 24,5^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{ef} = 14,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{def} = 5,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,35$		

6.4.4 Pleistocénní nesoudržné zeminy

Jsou zastoupeny fluviálními sedimenty vyskytující se zejména v prostoru nivy řeky Úslavy, případně jako pozůstatky vyšších teras zastižených ve svazích nebo na jejich vrcholech. Mocnost náplavů údolní nivy je proměnná, předpokládaná mocnost je od 10 m do 12 m.

Materiál terasových stupňů má zhruba jednotný charakter tvořený převážně hrubozrnnými málo až poloopracovanými polymiktními šterky, které vznikly např. z krystalických vápenců, proterozoických břidlic, rul, migmatitů, silicitů a bulžníků o průměrné velikosti do 10 cm a s hojným obsahem valounů až balvanů do velikosti 30 cm. Výplň je tvořena převážně hrubozrnným pískem s jemnozrnnou příměsí. Na základě penetračních zkoušek in situ lze šterky hodnotit jako středně ulehle, při povrchu terasy až ulehle.

Tab. 8 – Zatřídění pleistocénních zemin dle geotechnických vlastností

Geotechnický typ		Půdně - mechanické vlastnosti		Zatřídění dle ČSN 73 1001	Třída těžitelnosti dle ČSN 73 3050
Označení	Název				
GT6	pleistocenní písky	objemová tíha	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$	S3/S-F, S4/SM, S5/SC	2. - 3.
		úhel vnitřního tření	$\phi_{ef} = 28,0^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{ef} = 3,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{def} = 12,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,33$		
GT7	pleistocenní šterk	objemová tíha	$\gamma = 21,0 \text{ kN/m}^3$	G1/GW	3. - 4.
		úhel vnitřního tření	$\phi_{ef} = 41,5^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{ef} = 0,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{def} = 430,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,25$		
GT8	pleistocenní šterky	objemová tíha	$\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$	G2/GP, G3/GF, místy + Cb nebo B	3.
		úhel vnitřního tření	$\phi_{ef} = 34,0^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{ef} = 3,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{def} = 90,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,25$		
GT9	pleistocenní šterky	objemová tíha	$\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$	G4/GM, G5/GC	2. - 3.
		úhel vnitřního tření	$\phi_{ef} = 30,0^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{ef} = 920 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{def} = 50,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,30$		

6.4.5 Proterozoické horniny

V zájmové trase kanalizačního sběrače se vyskytují převážně grafitické břidlice s žilkami křemene, které jsou impregnovány pyritem. V menší míře jsou zastoupeny fylitické břidlice. V břidlicích lze očekávat přítoky poměrně agresivních podzemních vod. V závěrečné části trasy II. etapy průzkum objevil silicity, které polohy mocné od decimetrů až do stovek metrů.

Silicity v závěru trasy v hloubkách od 2,7 m do 3,0 m jsou charakterizovány ostrými přechody mezi silně zvětřalými a až zdravými polohami. Nelze tedy vyloučit nepravidelný výskyt tvrdší polohy v jinak lehce rozpojitelných horninách.

Tab. 9 – Zatřídění proterozoických hornin dle geotechnických vlastností

Geotechnický typ		Půdně - mechanické vlastnosti		Zatřídění dle ČSN 73 1001	Třída těžitelnosti dle ČSN 73 3050
Označení	Název				
GT10	zcela zvětřalé silicity a břidlice	objemová tíha	$\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$	R6	3.
		úhel vnitřního tření	$\phi_{\text{ef}} = 28,0^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{\text{ef}} = 2,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{\text{def}} = 18,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,33$		
GT11	silně zvětřalé silicity a břidlice	objemová tíha	$\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$	R5	4.
		úhel vnitřního tření	$\phi_{\text{ef}} = 29,0^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{\text{ef}} = 4,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{\text{def}} = 250,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,33$		
GT12	mírně zvětřalé silicity a břidlice	objemová tíha	$\gamma = 21,5 \text{ kN/m}^3$	R4, R5	5.
		úhel vnitřního tření	$\phi_{\text{ef}} = 36,0^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{\text{ef}} = 40,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{\text{def}} = 80,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,30$		
GT13	navětřalé až zdravé silicity a břidlice	objemová tíha	$\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$	R2, R3	6. - 7.
		úhel vnitřního tření	$\phi_{\text{ef}} = 38,0^\circ$		
		soudržnost efektivní	$c_{\text{ef}} = 60,0 \text{ kPa}$		
		modul přetvárnosti	$E_{\text{def}} = 150,0 \text{ Mpa}$		
		Poissonovo číslo	$\nu = 0,25$		

6.5 Hydrogeologie II. etapy

II. etapa Úslavského kanalizačního sběrače je prováděna v bezprostřední blízkosti řeky Úslavy. Celé podzemní dílo je situováno pod HPV, její přítoky do stavebních jam jsou tedy poměrně intenzivní a musí být kontinuálně čerpány. Prakticky celá zájmová oblast navíc spadá do rozletového území řeky Úslavy, sloužícího k ochraně města Plzně před povodněmi.

Podle hydrogeologické rajonizace ČR patří území do rajónu 134 - Kvartérní sedimenty Berounky a jejích přítoků - Úslava v Plzeňské kotlině. Zvodnění je vázáno na nepříliš mocnou polohu písčitých štěrků, která lemuje v úzkém pruhu říční tok. Nejpříznivější hydraulické parametry byly zjištěny v poříční zóně náplavů u Koterova (hloubka 1,5 m - 2,8 m). Vlivem nízké průlomové propustnosti, malé mocnosti a nevelkému plošnému rozsahu zde koeficient filtrace dosahuje hodnoty řádově $k_f = n \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Naopak největších hodnot nabývá koeficient filtrace $k_f = n \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ na hranici katastru Božkova a Koterova. Sonda US V7 zde ukázala výskyt propustných a silně zvodnělých štěrků a písků s příměsí jemnozrnných zemin od hloubky 3,0 m. Hladina podzemní vody je většinou napjatá, v hloubce několika málo metrů pod terénem.

Podzemní vody hlubšího kolektoru patří do rajónu 622 - Krystalinikum a proterozoikum v mezipovodí Mže pod Střibrem. Hydrogeologické poměry rajónu jsou poměrně monotónní, zastoupené horniny prakticky vylučují souvislý oběh průlinových podzemních vod. Přípovrchové rozpojené horniny umožňují živější oběh vody, naopak kolektory hlubšího oběhu jsou tvořeny puklinově tektonickými systémy vytvářející drenážní zóny.

Ze sondy US V7 byl také odebrán vzorek podzemní vody, který byl použit k rozboru. Byl odebrán v množství 1000 ml bez přísad a 250 ml s přidavkem mramorového prášku z hloubky 3 m pod terénem. Laboratorní rozbor ukázal výrazný nadprůměrný výskyt agresivního vápna ($55,84 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, dle Hayera). Voda ze sondy US V7 byla zařazena do stupně XA 2 [11].

6.6 Doplnkový geologický průzkum

Realizace II. etapy Úslavského kanalizačního sběrače byla provázena značnými komplikacemi již od počátku ražby. Jednalo se o pomalejší postupy, než které byly očekávány kvůli problémům s udržením požadovaného směru stroje, extrémním opotřebením rezných dlát a v neposlední řadě uvíznutím stroje, které končilo jeho vykopáním.

Z těchto důvodů byl proveden doplňkový geologický průzkum, spočívající v geofyzikálním měření, doplněný o deset nových jádrových vrtů s celkovou metráží 57,6 m. Z těchto doplňkových vrtů byly odebrány vzorky skalních hornin a jeden blok silicitu vytěžený z jámy č. 63. U všech vzorků byla provedena zkouška pevnosti v tlaku. Zjištěné hodnoty pro rozpojování hornin pomocí MTBM jsou směrodatné.

Původní geologická zpráva vycházela především z archivních vrtů z okolí stavby, tudíž neupozorňovala na nástrahy, které byly při realizaci II. etapy objeveny. Nové jádrové vrty byly umístěny přesně do osy projektované kanalizace a do míst s očekávaným výskytem nebezpečných jevů. Jádrové vrty byly teleskopické - do hloubky 4,5 m měly průměr 195 mm a od hloubky 4,5 m průměr pouze 156 mm, končily pode dnem projektovaného kanalizačního potrubí a sloužily ke zjištění kvalitativních hodnot (geologického řezu, odběr laboratorních vzorků a kalibraci geofyzikálních hodnot).

Výsledky geofyzikálních metod posloužily ke zjištění průběhu jednotlivých vrstev v podloží (kvantitativních hodnot) a stanovení míst s vysokým stupněm ohrožení ražby. K lepší interpretaci výsledků geofyzikálních měření rovněž posloužila IG dokumentace již vyhloubených šachet.

Původní IG průzkum poukázal na možné potíže při provádění zemních prací. Byly objeveny zeminy, konkrétně navážky tř. F3 - F5, místy + Cb, s třídou těžitelnosti 1 - 3 (dle ČSN 73 3050) až po horniny, hlavně silicity navětralé až zralé tř. R3 - R2, s třídou těžitelnosti 6 - 7.

Hlavním předpokládaným problémem je výskyt valounů a balvanů, které dosahují velikosti do 30 cm (výjimečně 40 cm). Jsou velice pevné, tvořené především křemičitým materiálem, jako bulžníky nebo silicity, a proto jsou velice obtížně rozpojitelné.

Doplňkový IG průzkum ukázal situování téměř celé trasy vedení II. etapy Úslavského kanalizačního sběrače do rozhraní zemin balvanité štěrkovité terasy a podložních břidlic, které jsou z větší části zvětralé, tence deskovitě rozpadavé. Jejich třída pevnosti v prostém tlaku byla stanovena jako R4 až R5, výjimečně jako R3. Součástí štěrkovité terasy je značné množství volně plovoucích balvanů bulžníků, které mají pevnost v prostém tlaku převyšující 200 MPa. Dále průzkum ukázal výskyt prokřemenělých výplní břidlic (přibližně ve 30 % jejich objemu) s třídou pevnosti v prostém tlaku R3 až R2 a zhruba v 5 % objemu i R1.

Tab. 10 – Klasifikace zastižených hornin a jejich těžitelnost

Název	Třída pevnosti	Hodnota pevnosti v jednoosém tlaku[MPa]	Třída těžitelnosti dle ČSN 73 3050
Buližníky	R1 až R0	> 150	7.
Břidlice	R3	15 až 50	3.
	R4	5 až 15	2.
	R5	< 5	1. - 2.
Prokřemenělé výplně břidlic	R1	> 150	7.
	R2	50 až 150	4. až 6.
	R3	15 až 50	3.

Výše uvedená tabulka ukazuje značnou nehomogenitu horninového prostředí v trase II. etapy Úslavského sběrače. Výskyt velmi tvrdých hornin nebyl v předchozí geologické dokumentaci prokázán, tudíž projektant neměl ucelené informace o horninovém prostředí a nemohl správně navrhnout technologii provedení kanalizace.

Zpracovatel průzkumu se v závěrečné zprávě zmiňuje o vylamování řezných hrotů z tvrdokovu na vrtných korunkách při provádění jádrových vrtů, které si vyžádaly až tři vrtné korunky na jeden vrt [17].



Obr. 7 Vylomení řezného hrotu na vrtné korunce [17]

6.7 Doplnkový geofyzikální průzkum

K provedení doplňkového geofyzikálního průzkumu bylo použito dvou metod - metoda MRS (mělká refrakční seismika) a metoda DEMP (dielektrické magnetické profilování).

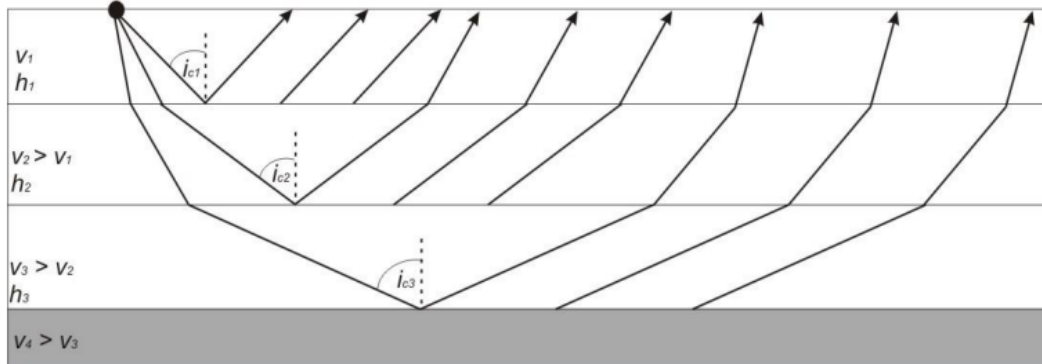
6.7.1 Mělká refrakční seismika (MRS)

MRS je geofyzikální metoda zjišťující rozložení rychlostí šíření seismických vln v horninovém prostředí pod linií měření, neboli hloubku povrchu podložních seismicky rychlejších hornin pod povrchem terénu. Metoda získává vstupní data měřením času návratu seismických vln ke snímačům chvění země (geofony) od okamžiku jejich aktivace na známém místě. Výsledné parametry jsou získány řešením obrácené úlohy šíření seismických vln horninovým poloprostorem. Aktivace seismické energie je prováděna opakovaným dopadem seismického kladiva na pevnou desku. Součtem těchto dopadů je umožněno snížit podíl šumu a zvýšit významně přesnost měření.

Rychlosti šíření seismických podélných vln (tzv. P-vlny) zpravidla v přírodních horninách stoupají směrem do hloubky. Pokryv mívá rychlosti šíření seismických P-vln až desetkrát menší než jsou v podloží pokryvu.

Měření je ovšem komplikováno tím, že registrované nejrychlejší seismické vlny se nešíří přímo po povrchu podloží, ale využívají ještě vyšší rychlosti v méně porušené hornině ve větší hloubce a vzniká tzv. refragovaná vlna. Tato skutečnost umožňuje změřit rychlosti seismických vln i ve větších hloubkách pod povrchem podloží a klasifikovat tak jeho mechanický stav [18].

Každá vrstva podloží je charakterizována určitou rychlostí v , hloubkou h a kritickým úhlem i_c , který je závislý na rychlosti šíření vln nad a pod rozhraním.



Obr. 8 Refrakce vlny v nehomogenním prostředí [19]

Mělká refrakční seismika byla měřena digitální seismickou aparaturou SYSMATRACK 24, výrobce MAE Itálie. Přístroj umožňuje registraci příchodu seismických vln na 24 kanálech. Potřebná užitečná energie byla generovaná nedestruktivně pomocí kladiva - tzv. bod výbuchu.

V terénu se registrují časy příchodů podélných seismických vln. Interpretace seismických záznamů umožní určit hloubku, tvar seismického rozhraní a příslušné rychlosti šíření seismické vlny. Hodnota rychlosti seismických vln přímo souvisí s elastickými vlastnostmi horninového prostředí. Pomocí rychlosti lze tak stanovit míru kompaktnosti hornin.

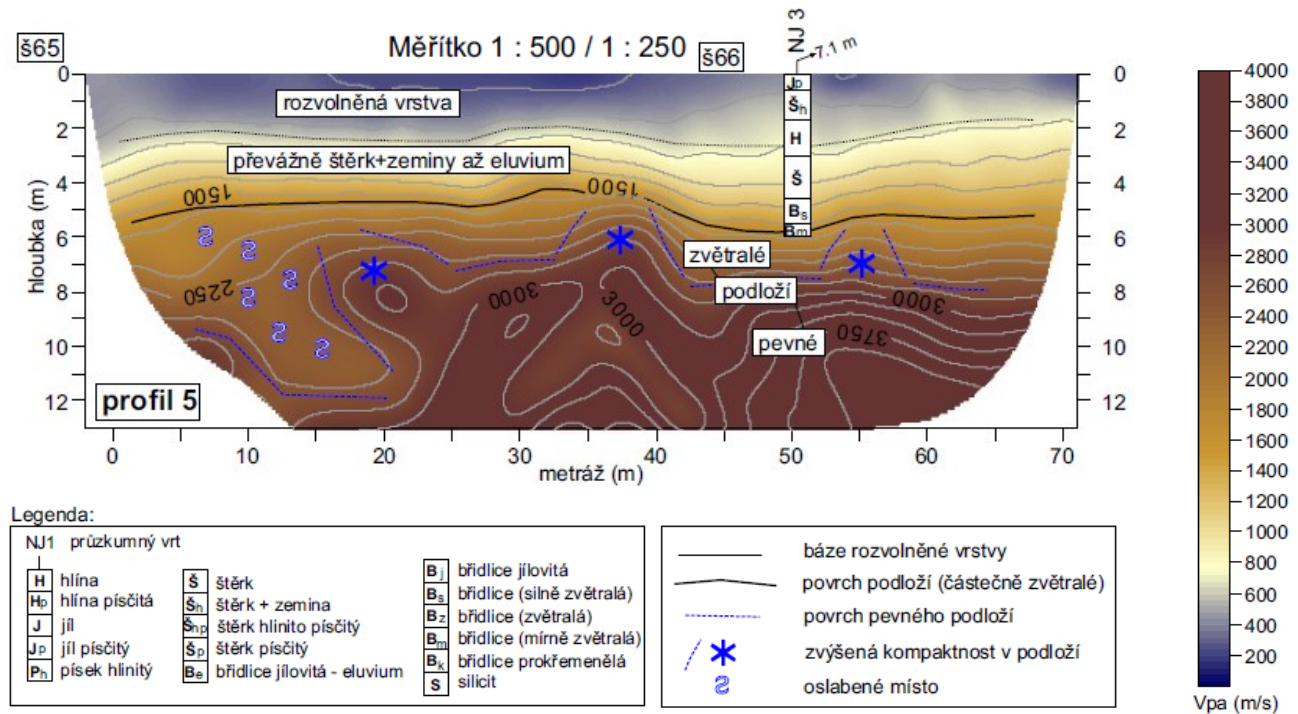
Linie seismického profilu převážně sledovala osu plánované kanalizace. V některých částech lokality (Š60 – Š80) bylo nutné linii profilu mírně odsadit od osy kanalizace kvůli výskytu terénních podmínek (např. asfaltová cesta nebo konstrukce šachet). Osa kanalizace se místy lomila, proto se měřilo podél samostatných úseků s délkou roztažení mezi krajními body výbuchu 73 m. Geofony byly umístěné podél roztažení s pravidelným krokem ve vzdálenosti 3 m. Čas příchodů seismických vln byl registrovaný z pěti bodů výbuchu na roztažení. Celkem bylo měřeno 33 profilů.

Horizontální a vertikální změny v podloží byly sledovány pomocí izolinií paprskové rychlosti V_{pa} [$m \cdot s^{-1}$]. Na základě hodnot této rychlosti, průběhu izolinií a vrtného průzkumu byly stanoveny tři hlavní rychlostní rozhraní:

- málo kompaktní zeminy, V_{pa} okolo $600 m \cdot s^{-1}$ - rozvolněná vrstva
- souvrství s proměnlivou kompaktností, V_{pa} okolo $1600 m \cdot s^{-1}$ - souvrství šterku, zemin až eluvia
- bloky s různým stupněm kompaktnosti, V_{pa} nad $2600 m \cdot s^{-1}$ - pevné podloží

Modrá hvězda symbolizuje v řezech lokální elevaci pevnějších bloků až na úroveň povrchu podloží (viz. obr. 9) [17].

Výsledkem zpracování je vertikální řez pod linií měření s vyznačenými kvazihomogenními bloky, v nichž je uvedena jejich průměrná rychlost šíření podélné seismické vlny. Podle rychlosti šíření podélné seismické vlny a znalosti dalších doplňujících údajů (např. Youngův modul pružnosti) je možné odvodit některé IG parametry hornin [18].



Obr. 9 Vyhodnocení seismického rychlostního řezu (profil č. 5) [17]

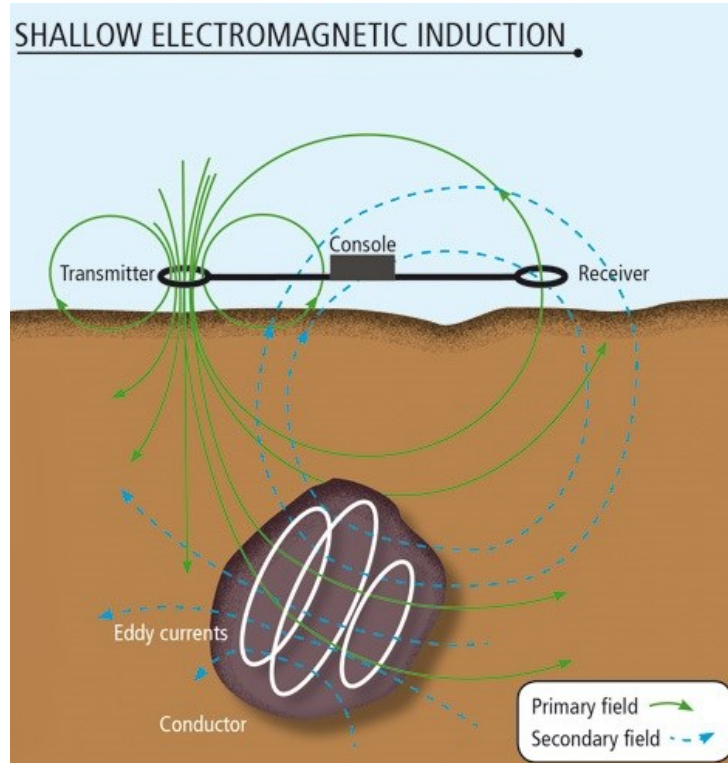
6.7.2 Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)

Tato metoda se řadí mezi elektromagnetické profilovací metody zjišťující zdánlivou vodivost a zdánlivý měrný odpor hornin podél profilu měření. Využívá se aktivního zdroje elektromagnetických vln, který vysílá směřovaný signál do země (primární EM pole) a přijímá jeho odezvu (sekundární EM pole). Hloubkový dosah metody je asi 6 m pod povrch terénu, přičemž vliv konduktivity jednotlivých vrstev na naměřenou hodnotu konduktivity s hloubkou klesá. Platí přibližně tato závislost vlivu na naměřenou zdánlivou konduktivitu (platí pro homogenní prostředí):

- 55% signálu je z hloubky větší než 2m
- 45% signálu je z hloubky větší než 3m
- 25% signálu je z hloubky větší než 6m
- 15% signálu je z hloubky větší než 8m

Touto metodou je možné velmi podrobně a rychle získat snímek fyzikálního stavu horninového masívu a z něj usuzovat na změny litologie hornin, změny vlhkosti, stupeň porušení, přítomnost cizích těles jako jsou inženýrské sítě atd. Dále je možné detekovat kovové předměty, cihelné zdivo a jiné magneticky aktivní materiály.

Zdánlivá vodivost σ_z [$\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$] reaguje na změny sledovaného horninového prostředí a závisí především na litologickém složení, obsahu a mineralizaci vody vyplňující póry. Zdánlivý měrný odpor ρ_z [Ωm] souvisí se změnou zrnitosti a pórovitosti měřeného prostředí.



Obr. 10 Princip metody DEMP (anglicky Shallow Electromagnetic Induction) [20]

Metoda DEMP byla použita pouze v části lokality mezi šachtami Š78 až Š94 z důvodu výskytu nejmenšího počtu rušivých objektů v tomto úseku (např. kovové konstrukce šachet). Měřilo se přístrojem CMD - 4, výrobce GF Instruments, s vysílací a měřicí cívkou na dipólu o délce 4 m (viz. obrázek č.11).



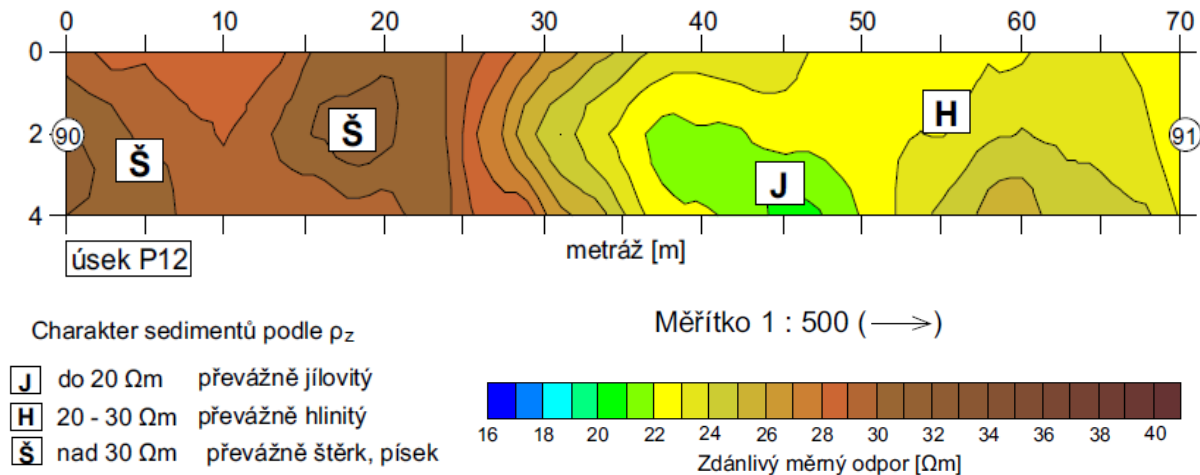
Obr. 11 Bezkontaktní měření přístrojem CMD - 4 využívající metodu DEMP [21]

Na lokalitě bylo měřeno v kontinuálním módu záznamu po 0,5 sec. Vlastní měření bylo provedeno systémem tří paralelních profilů s mezi profilovou vzdáleností 2 m podél plánované stavby kanalizace. Střední profil sledoval osu stavby kanalizace. Celkem byly proměřeny čtyři úseky mezi šachtami Š78 – Š81 a Š82 - Š94 v celkové délce 3 x 1020 m.

Plošné měření podél několika profilů umožnilo zpracovat hodnoty do map izolinií zdánlivého měrného odporu ρ_z ukazující změnu tohoto sledovaného parametru do hloubky 6 m. Tato hodnota odpovídá průměrné hodnotě různých typů hornin s různou vodivostí v dosahu měřicího dipólu. Nejvýraznější vliv mají struktury v okolí maximální citlivosti přístroje kolem 1,8 m. Naměřené hodnoty dosáhly intervalu od 16 Ωm do 45 Ωm .

Na základě hodnot zdánlivého měrného odporu byly určeny tři kvazihomogenní bloky o podobném složení:

- do 20 Ωm sedimenty s charakterem převážně jílovitým - J
- mezi 20 Ωm až 30 Ωm převažující hlinité zeminy - H
- do 45 Ωm hrubozrnnější zeminy, převážně štěrky - Š



Obr. 12 Mapy izolinií zdánlivého měrného odporu ρ_z (šachta Š 90 až Š 91) [17]

6.7.3 Výsledky doplňkového geofyzikálního průzkumu

Geofyzikální průzkum sledoval osu plánované kanalizace. Trasa měla lomený průběh mezi plánovanými šachtami. Tomu byly přizpůsobeny i geofyzikální profily. Měřilo se po úsecích – MRS podél roztažení délky 73 m a metoda DEMP po částech mezi dvojicí šachet, které byly většinou vzájemně vzdálené kolem 70 m.

Výsledky byly interpretovány formou hloubkových rychlostních řezů (metoda MRS) a pomocí plošných map (DEMP). Hloubkové řezy navíc byly doplněny o doplňkový vrtný průzkum.

V části lokality poblíž Božkova byly podmínky měření ovlivněny výstavbou kanalizace. Zaznamenané hodnoty byly díky malé mocnosti rozvolněné vrstvy a menší hloubce podloží naměřeny ve vyhovující kvalitě v úsecích se zvýšeným šumem.

Výsledky doplňkového geofyzikálního průzkumu lze shrnout následovně:

- na základě zdánlivého měrného odporu ρ_z byly určeny tři kvazihomogenní bloky blíže charakterizující mělčí část sledované plochy
- metoda MRS umožňuje na základě hodnot paprskových rychlostí V_{pa} vytipovat problematická místa s proměnlivou kompaktností prostředí
- podložní břidlice se vyskytují v hloubce od 3 m do 6 m pod terénem
- celá proměřovaná trasa je charakterizována prostředím s různou nehomogenitou prostředí

- lokální elevace pevnějších bloků směrem k povrchu ukazují na problematická místa s náhlou změnou kompaktnosti prostředí

Prostředí v hloubkové úrovni budované kanalizace vykazuje výrazně proměnlivou variabilitu v kompaktnosti, která může způsobit značné komplikace pro technologii mikrotunelování.

Na základě výše uvedených informací byly stanoveny problematické místa s rozdělením do dvou skupin podle kompaktnosti prostředí:

- a) místa s vysokým stupněm ohrožení - celkem 14 profilů o celkové délce 132 m
- b) místa s nižším stupněm ohrožení - celkem 12 profilů o celkové délce 81 m

Všechna tato kritická místa jsou vyznačena v řezech, které jsou součástí příloh doplňkového geofyzikálního průzkumu včetně anomálních jevů označených modrou hvězdou [17].

7 VYHODNOCENÍ I. ETAPY

I. etapu výstavby ÚKS poznamenalo několik důležitých faktorů, se kterými se musela realizační firma vypořádat. Tyto podmínky pro úspěšné dokončení jsou v této kapitole rozebrány.

7.1 *Použitá technologie*

Při realizaci bylo použito v převažující míře mikrotunelování, ale v některých úsecích muselo být využito výhod otevřeného výkopu. Mikrotunelingem bylo celkově vyraženo přibližně 2000 m. V závislosti na potřebném průtokovém množství bylo dle projektu použito dvou profilů, konkrétně DN 800 a DN 1000. Dalším faktorem, který ovlivnil použití dvou profilů, jsou technologické důvody. V místech podchodů pod řekou by maximální tlačná síla pro DN 800 mm nemusela být dostačující pro délku protlaku.

Pro dopravu vytěžené zeminy bylo použito hydraulické dopravy, kdy za pomoci vody, bentonitu a polymeru bylo vytvořeno požadované médium pro dopravu rozpojené zeminy, lubrikaci, výplach a stabilizaci čelby. Poměr a druh látek obsažených ve výplachovém médiu se ovšem měnil a volil podle okolností (geologické podmínky nebo rychlost degradace výplachu). Výplach se obvykle měnil přibližně po 3 dnech, kdy za tuto dobu bylo vyraženo asi 45 m (okolo 15m na den).

7.2 *Pažení jam*

Startovací a cílové jámy se nacházely v místech současných revizních šachet a pro jejich zapažení bylo použito štětovnic typu Larssen, které se zabíraly do požadované hloubky v rozmezí přibližně od 3,3 m do 7,9 m. Štětovnice byly rozepřeny rámy z válcovaných I-profilů.

Bohužel u pěti šachet nebylo možné pažení zarazit do požadované hloubky z důvodu skalního podloží. Toto horninové prostředí zasahovalo přibližně 2 metry nad projektované dno výkopu jámy. Tento problém byl nakonec vyřešen použitím stříkaného betonu, který se nanášel po několika vrstvách na výztužný prvek a to Kari síť.

7.3 *Použité razící hlavy*

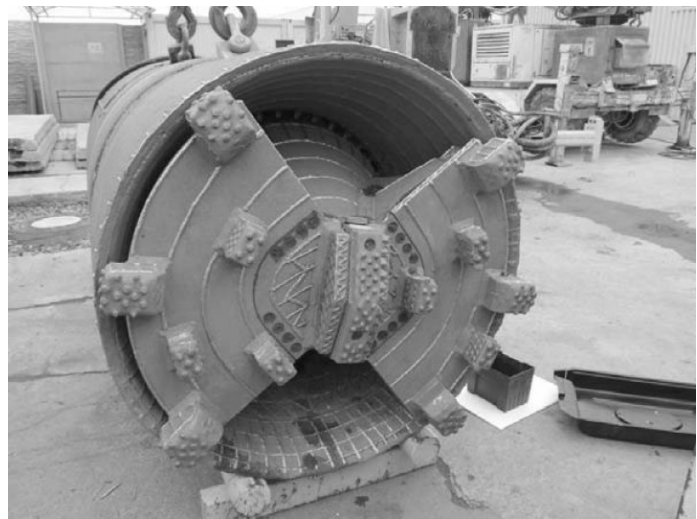
Pro realizaci I. etapy ÚKS byly použity tři typy mikrotunelovacích strojů. Konkrétně se jednalo o japonské stroje firmy ISEKI a to:

- ISEKI TCC Unclemole 980
- ISEKI TCC Unclemole 1280
- ISEKI TCC-R Unclemole 980 / 1280

První dva uvedené typy razících hlav byly použity pro ražbu první části, ve které byly použity kameninové hrdlové trouby světlosti 800 mm a 1000 mm.

Na základě IGP se předpokládal rozpad zastižených břidlic na jíly, což se ve skutečnosti nestalo. Naštěstí všechny odebrané a zkoušené vzorky těchto břidlic nedosahovaly tlačné pevnosti vyšší než 15 MPa a nebylo tedy nutné od začátku ražby nasadit skalní hlavu. Zhotovitel se nakonec rozhodnul pouze upravit zeminovou hlavu. Úprava spočívala ve vyztužení razících ramen a vytvoření ochranného límce periferních zubů, který na čelbě následně vytvářel přibližně 1 cm nadvýmlo nutný k postupu ražby v pevné a kompaktní hornině.

I přes všechny úpravy bylo nutné nasadit poloskalní hlavu typu ISEKI TCC-R, která se měla vypořádat s pevnějšími břidlicemi a zároveň dobře procházet jílovitou zeminou.



Obr. 13 Použité razící hlavy I. etapy - vlevo zeminová, vpravo poloskalní hlava [22]

7.4 Povodeň

Již při projektování trasy I. etapy, vedené kolem řeky Úslavy, projektant musel vzít v potaz možnost výskytu povodně, kdy každoročně dochází ke zvýšení hladiny vody v řece a jejímu následujícímu rozvodnění. Běžně stačí stavební jámy zabezpečit dle ČBÚ 55/1996 Sb. proti náhlému přítoku povrchových vod, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti pracovníků a poškození technologie mikrotunelování [23]. Dle vypracovaného pracovního postupu se štětová stěna ze

štětovnic Larssen zaberanila tak, aby minimálně 10 cm vyčníval nad terén po celém obvodu stavební jámy [24]. Běžně se také používá obetonování ústí jámy s okapním plechem.

Pro každý projekt v blízkosti řeky je nutné vypracovat havarijný plán pro případ povodně. Slouží k minimalizaci dopadu povodně na ohrožení zdraví pracovníků a na poškození technologie. Pracovníci jsou v případě zvýšení hladiny informováni a kontrolují přítok do stavební jámy. Pokud se zvýšený přítok daří odčerpat, i za využití záložního čerpadla, je možné v ražbě pokračovat. Při dalším upozornění zvýšení hladiny je nutné pracoviště opustit.

Pro ochranu proti zatopení stavebních jam při realizaci I. etapy ÚKS se Larsenové stěny zaberanily tak, aby vyčnívaly 1 m nad terén. Bohužel toto opatření bylo nedostatečné ani při použití nafukovacích vaků. Dne 28. 5. 2013 (obr. 14 vlevo) dosahoval průměrný průtok v řece Úslavě $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, který 3. 6. 2013 (obr. 14 vpravo) dosáhl hodnoty $133 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hladina vody kulminovala 4 m nad běžným stavem a povodeň byla označena jako desetiletá.



Obr. 14 Rozvodněná řeka Úslava [25]

Protipovodňové opatření není dle žádného zákona ani vyhlášky preventivně instalovat. Návrh by musel být vypracován projektantem a financován investorem. Nejedná se o zanedbatelnou položku v rozpočtu stavby, kterou by toto opatření výrazně prodražilo.

Povodeň, která postihla realizaci I. etapy ÚKS jasně dokázala, že i přes všechnu snahu a opatření není v lidských silách stavbu ochránit. Zhotovitel stavby nic nepodcenil, naopak se na povodeň dobře připravil, ale příroda byla v tomto případě silnější. Všechna povodňová opatření byla

v tomto případě nedostatečná, stavbu zbytečně prodražila, ale je pouze na dohodě investora s realizační firmou, jak se rozhodnou a poslední slovo bude vždy mít příroda.

Na závěr této kapitoly je třeba zmínit správné rozhodnutí zhotovitele stavby, který po odeznění povodní ponechal mikrotunelovací stroj pod zemí. Zde byla celá technologie po celou dobu povodně. Došlo k opravě všech elektronických součástí zezadu stroje, které byly poškozeny zatopením. Toto rozhodnutí přineslo výraznou úsporu času, která se samozřejmě pozitivně projevila i z ekonomického hlediska.

8 VYHODNOCENÍ II. ETAPY

Při realizaci II. etapy ÚKS bylo zapotřebí vyřešit řadu problémů. V této kapitole jsou popsány ty nejdůležitější z nich. Především se jednalo o geologické podmínky, které jsou v místě trasy vedení velice unikátní.

8.1 *Návrh stavebních jam a jejich zajištění*

Projektant původně navrhnul jámy s obdélníkovým pažením z ocelových štětovnic. Kvůli geologii se štětovnice nedaly zaberanit do požadované hloubky. Další problém nastal se zajištěním dostatečného prostoru v jámě pro tlačnou stanici. Tento požadavek by znamenal změnu tvaru jámy z obdélníku na lichoběžník a nutnost řešit každou šachtu individuálně podle lomené čáry projektované osy kanalizace. Tento problém se vyřešil použitím kruhových rámu z důlní výztuže K21 a UNION pažnic. Nakonec se toto řešení ukázalo jako velice vhodné.

V prostoru za tlačnou stanicí a v prostoru budoucí ražby je nutné odstranit ocelové pažnice. V prostředí zvodnělých štěrků dochází k okamžitému sesuvu zeminy do prostoru šachty v místě odstranění ocelových UNION pažnic. Aby nedocházelo k zatopení šachet, je nutné pažnice za tlačnou stanicí odstranit až po vybetonování monolitické stěny a jejím částečném zatvrdnutí a v prostoru před ražbou se štěrk stabilizuje jehlovým deštníkem z betonářské výztuže o průměru 20 mm na délku okolo 2 m. V některých případech bylo nutné navíc použít injektáž z polyuretanové pryskyřice, která eliminovala rozvolnění štěrku za ostěním a zabránila vniknutí výplachu do jámy při prvních metrech ražby.

8.2 *Důsledky ražby v tvrdých horninách*

Vlivem značně proměnlivé geologie na trase II. etapy ÚKS nebylo možné použít čistě zeminovou nebo čistě skalní řeznou hlavu. Proto byl použit maximálně univerzální stroj ISEKI Unclemole. Nicméně tato mikrotunelovací soustava je pouze poloskalní, navržena do hornin s pevností v prostém tlaku do 50 MPa. IG průzkum ukázal výskyt bulžníků a křemenců s pevností v prostém tlaku i přes 200 MPa. Výskyt těchto velice pevných hornin měl velice negativní dopad nejen na řeznou hlavu stroje, ale i na celou řadu dalších součástí technologie - např. elektrocentrály, která byla vystavena musela pracovat na jiném stupni zatížení.

Tyto okolnosti způsobily značné opotřebování řezné hlavy, která v běžných geologických podmínkách dokáže bez větších oprav vyrazit přes 1 km, a nutnost kompletně hlavu renovovat po každém vyraženém úseku (přibližně co 50 m).

Když už se horninu podařilo strojem rozpojit, další problém nastal při jejím průchodu drtičem, kdy se z horniny stal velice jemný prach s extrémní abrazivitou. Obrusnost křemičitého prachu způsobila destrukci výplachového potrubí, separačních sít, trychtýřů hydrocyklon i všech ostatních částí výplachového systému a náklady na výměnu tohoto systému se rovnaly ceně nového osobního automobilu.

Křemičitý prach je tak jemný, že způsobil houstnutí výplachu, což se projevilo jeho navázáním na výplachové médium a společně s ním vytvořil hustou kaši, která při průchodu hydrocyklonou v sekundární separaci zamezuje odstranění tohoto jemného prachu. To vede až k znehodnocení výplachu a nutnosti jeho výměny. V běžných poloskalním prostředí se výplach mění 1 až 2x do měsíce, kdežto v prostředí s výskytem bulžníků a prokřemenělých břidlic je nutné měnit výplach každý den. Odstranění výplachu z odkalovacích nádrží se provádí pomocí sacího bagru, jedná se tedy o operaci značně nákladnou.

8.3 Úprava řezných dlát

Výrazně proměnlivá geologie na trase II. etapy ÚKS se musela zákonitě odrazit na úpravě použité technologie. Narazilo se na břidlice, které byly místy naprosto zvětralé, o pár metrů dále kompaktní a navíc silně prokřemenělé. Navíc v kombinaci se šterky obsahujícími bulžníky dosahovaly velmi vysokých pevností. Toto geologické prostředí představovalo extrémní zátěž především pro řeznou hlavu soustavy a bylo nutné hlavu upravit.

První změna spočívala v osazení bočních výztužných ramen TCC řezné hlavy. Dále bylo nutné všechny exponované části důkladně ovařit tvrdokovem - především čelní břit razicího stroje, pevnou i rotační část drtiče a řezná dláta. Tato úprava se velice dobře osvědčila při realizaci I. etapy, tudíž měla být použita s dostatečným účinkem pro realizaci II. etapy.

Samotný dodavatel technologie provedl v průběhu ražby II. etapy návrh nové razící hlav Unclemole. Hlavní předností byla snadnější výměna řezných dlát, které nejsou tvořeny jednotlivými řeznými nástroji, ale skupinami menších řezných hrotů, které lze snadno osadit

z přední strany stroje. Nebylo tedy nutné při výměně dlát demontovat pohyblivou středovou část řezné hlavy, což se pozitivně projevilo časově i ekonomicky.



Obr. 15 Upravená řezná hlava TCC po vytažení

Tvar řezných dlát bylo nutné neustále optimalizovat v závislosti na chování stroje a způsobu opotřebování na jednotlivých ražených úsecích. Obrušováním obvodových dlát se zmenšoval průměr výrubu, čímž se zvětšovala třecí síla na protlačovaném potrubí. Navíc vylomené hroty z tvrdokovu poškozovaly integrovaný drtič.



Obr. 16 Stav dláta po vyražení asi 70 m úseku

Ve štěrcích zastižených na trase II. etapy docházelo k zahlcování drtiče balvany bulžníku a bylo nutné v této geologii použít přeplátování řezné hlavy ocelovými plechy s řeznými dlaty. V podstatě se jednalo o přestavbu řezné hlavy TCC na TCC-R.



Obr. 17 Nová souprava opatřená TCC-R řeznou hlavou

8.4 Výškové vedení stroje

Velký problém nastává při průchodu stroje rozhraním dvou zcela odlišných zemin. Pokud je v trase přechod z jednoho geologického prostředí do druhého velmi pozvolný, má stroj tendenci sledovat vrstvu měkčího materiálu a stává se neřiditelným. Obvykle dochází k propadání stroje, nastoupávání po tvrdé vrstvě nebo zatlačení stroje. Řešení těchto situací se odvíjí od polohy mikrotunelovací soustavy vůči stavební jámě. Nicméně všechny tyto případy mají jedno společné - jsou časově i ekonomicky velmi náročné.

Do prvních cca 12 m ražby je možné se strojem vycouvat. Pomocí řetězů se razicí stroj připevní k tlačné stanici, která se zapře o vstupní prstenec dřevěnými hranoly a zpětným chodem se začnou již zatlačené kanalizační trouby vytlačet ven. Důležité je k hlavě stroje přivádět výplachovým potrubím směs cementu a bentonitu, která kontinuálně vyplní volný prostor před řeznou hlavou a stabilizuje řeznou hlavu. Po vytažení stroje se cementobentonitová suspenze nechá vytvrdnout a ražba se zopakuje.

Při odchýlení potřebného směru v blízkosti cílové jámy lze ražbu dokončit, poté pomocí konvenční metody provést zpětnou štolu, vyrovnat potrubí do požadované polohy a poté zalít popílkocementovou suspenzí.

V případě, kdy se mikrotunelovací soustava stane neřiditelnou daleko jak od startovací, tak i cílové šachty a nenachází se pod zastavěným územím, je nejvhodnější vyhloubit dočasnou stavební jámu, stroj urovnat a zeminové prostředí před strojem upravit. Pokud se soustava nachází v tvrdých horninách, je nejvýhodnější materiál odsekat a vytvořit zálom, do kterého stroj dokáže vniknout. Naopak příliš měkkou zeminu je možné například prolít jílocementovým mlékem a počkat na její vytvrdnutí.

Určitý vliv na směrové vedení stroje má i průměr výrubu. Obvykle se řezná dláta osazují tak, aby v krajní poloze eliptického pohybu přesahovala plášť MTBM o 8 mm. Vzniká technologický nadvýrub, který je vyplňován lubrikační suspenzí a slouží především ke snížení plášťového tření. U kratších úseků, kde se předpokládá ražba skrze rozhraní dvou geologicky výrazně odlišných hornin, je v některých případech vhodné razit s obroušenými obvodovými zuby. Vznikne redukováný volný prostor po obvodu stroje, který způsobí pevnější sevření stroje okolní zeminou. To má za následek přesnější vedení mikrotunelovací soustavy, respektive citlivější odezvu na změnu náklonu řiditelné hlavy. Na druhou stranu se však zvyšuje plášťové tření a toto opatření se dá použít pouze u krátkých úseků.

8.5 *Ražba na rozhraní štěrku a horniny*

V případě dvou horizontálně uložených vrstev, kde horní polovinu čelby zaujímá štěrk a druhou polovinu pevná břidlice, nastává velice specifická situace. Prakticky nelze dosáhnout rovnovážného stavu na čelbě, protože vnesení potřebného tlaku do horní štěrkové části nelze provést výplachem, který skrze propustné štěrky uniká, ani pomocí tlaku vnášeného na řeznou hlavu tlačnou stanicí přes zatlačované trouby, jelikož se řezná hlava zapírá o skalní vrstvu ve spodní části čelby. Místo odtěžování materiálu z prostoru před řeznou hlavou dochází k přibírání štěrku z prostoru nad strojem a vytváření kaverny nad zatlačovaným potrubím. Kaverna způsobuje budoucí sedání nadloží, ale hlavně zabraňuje řízení stroje, který už není v koruně zatížen a má tendenci stoupat bez ohledu na natočení jeho řiditelné hlavy.

I přes všechna opatření nelze nežádoucím jevům zabránit a zejména u delších úseků je ražba na rozhraní odlišných hornin technologií mikrotuneláže zcela neproveditelná. Jediným spolehlivým řešením je využít nákladnou injektáž, která eliminuje nehomogenitu geologického souvrství.

8.6 *Zhodnocení použité technologie v II. etapě*

Z výše uvedených faktů je jasné, že realizace II. etapy ÚKS je v oblasti mikrotunelování zcela unikátní. Tato velice efektivní metoda se zde ukázala jako nepříliš šťastná kvůli značné nehomogenitě geologického prostředí. Pracovní postupy, které v ideálních podmínkách přesahují několik desítek metrů za den, dosahovaly podprůměrných hodnot. Mikrotunelovací soustava obecně, nezávisle na výrobci, nemá problém s jakoukoliv geologií, pokud se ovšem na trase nemění. Zvolí se vhodná řezná hlava pro danou zeminu a problém je vyřešen. Pro jíly nebo písky se využívají loupací nože, řezná dláta pro poloskalní horniny a valivá dláta ve skalním prostředí.

Stroje japonské firmy Unclemole se dají považovat za špičku ve svém oboru, patří mezi nejuniverzálnější mikrotunelovací soustavy a jsou i v těchto geologicky velice špatných podmínkách použitelné, ale s velice malou efektivitou. Čas potřebný pro vyražení jednoho metru geometrickou řadou narůstá a s tím i spotřeba pohonných hmot (včetně např. bentonitu nebo mazacího oleje), náklady na opravy, údržbu i samotný provoz stroje.

Realizace této stavby ukázala důležitost provedení podrobného geologického průzkumu v období projektové přípravy, která je důležitější než u běžných konvenčních metod. Doplňkový geofyzikální průzkum, provedený v ose kanalizace, umožnil alespoň z části predikovat geologickou skladbu mezi jednotlivými šachtami a na jeho základě ve spolupráci se zástupci společnosti ISEKI optimalizovat řeznou hlavu pro každý ražený úsek.

9 POZNATKY Z OBOU ETAP

Cílem této kapitoly je upozornit na největší problémy spojené s výstavbou ÚKS a navrhnout metody, pomocí kterých by se dalo zamezit negativním vlivům při realizaci podobných staveb.

9.1 *Geologické podmínky*

Celá výstavba ÚKS se spjata s velice proměnlivou a složitou geologií. Na trase kanalizace se vyskytují snad všechny typy zemin v kombinaci se silně navětralými horninami doprovázenými lokálním výskytem extrémně pevných a abrazivních hornin.

9.1.1 *Proměnlivost břidlic*

Provedený geologický průzkum I. etapy předpokládal výskyt břidlic, u kterých se předpokládal rozpad na jílovitou zeminu vlivem výplachu. To se však nedělo a nastaly komplikace při použití skalní razící hlavy. Břidlice měla evidentně charakter spíše břidlice krystalické v metamorfovaném vývoji, navíc bez zřejmých ploch odlučnosti a bez tektonického narušení nebo zvětrání. Byly provedeny dodatečné zkoušky na pevnost vzorků v prostém tlaku přímo odebraných v startovací jámě prvotního testovacího úseku, které nevykazovaly laboratorně pevnost vyšší než 15 MPa.

Bylo rozhodnuto o použití zeminové hlavy, na které byly provedeny dodatečné úpravy (kap. 7.3). Na základě IGP se předpokládala postupná degradace těchto břidlic a pozdější výskyt hornin s pevností R3 až R5 (horniny s pevností v prostém tlaku maximálně do 50 MP).

Během ražby dalších úseků se ale objevily prokřemenělé břidlice o pevnostech až 150 MPa. Výskyt těchto velmi tvrdých a abrazivních hornin byl o to problematičtější, že byl velmi nepředvídatelný, proměnlivý a tyto partie přecházely často rychle zpět do partií terciérních sedimentů a jílu.

9.1.2 *Výskyt spilitů*

Zhotovitel mikrotunelovacích prací během další ražby vyhodnotil skutečné horninové prostředí na vybraných úsecích následovně:

- úsek mezi Š4 - Š6 (120 m) - výskyt spilitů třídy R2 až R1
- úsek mezi Š30 - Š31 (62 m) - výskyt břidlic třídy R2
- úsek mezi Š31 - Š32 (68 m) - výskyt spilitů třídy R2 až R1
- úsek mezi Š39 - Š41 (120 m) - výskyt břidlic třídy R3 až R2
- úsek mezi Š48 - Š49 (70 m) - výskyt spilitů třídy R2

Celá realizace se tedy značně zkomplikovala. Ze zjištěného horninového prostředí je zřejmé, že klíčovým parametrem pro technologii mikrotunelování je pevnost v prostém tlaku, kdy zcela odlišné je horninové prostředí do 50 MPa v tlaku (zeminové a poloskalní) a nad 50 MPa v tlaku (skalní horniny). Po zatřídění hornin do geotechnických tříd dle ČSN 73 1001 je jasné, že se na trase nacházejí úseky s výskytem skalních hornin s pevností v prostém tlaku nad 50 MPa. Konkrétně je jedná o spility (třída R1 s pevností nad 150 MPa) a břidlice (třída R2 s pevností 50 MPa až 150 MPa).

Dle IG průzkumu I. etapy (kap. 5.4) bylo definováno celkem osm specifických geotechnických kategorií včetně zatřídění hornin dle ČSN 73 1001. V žádné z osmi popisovaných kategorií se nepředpokládal výskyt hornin s pevností v prostém tlaku nad 50 MPa. V geologické zprávě se mluví jako o nejnejpříznivějších třídách R3 až R4, což odpovídá pevnostem cca 15 MPa.

Zhotovitel původního IG průzkumu postupoval standardním způsobem, vycházel z vrtných jádrových sond vzdálených 100 m až 200 m a nikde nebyly zjištěny horniny s vyšší pevností v tlaku než 15 MPa.

Lze tedy hovořit o výskytu anomálií vzniklých zejména lokálním vyplněním trhlin vyvěřelými horninami typu spilitů nebo intenzivnější metamorfózou břidlic doprovázenou kontaktním prokřemeněním, která měla v řadě případů také spíše lokální charakter.

9.1.3 Abrazivita

Ve II. etapě byl největší problém pro mikrotunelovací stroj výskyt balvanů křemenců (viz. kap. 8.2). Abrazivita křemičitého prachu dosahovala extrémních hodnot. V odborné literatuře [26] se abrazivita určuje jako hmotnostní úbytek normalizovaného prvku konstantních rozměrů o stejných mechanických vlastnostech, který se zatlačí při konstantním tlaku do zkoušeného vzorku horniny. Pokud horniny dosahují abrazivity v rozsahu 1,0 až 3,5 mg·m⁻¹, jsou označeny jako

středně abrazivní horniny. Vzorky balvanů křemence vykazovaly při zkouškách abrazivitu až $5,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-1}$ (kap. 5.5).

Tato hodnota svědčí nejen o vysokém stupni pevnosti těchto hornin, ale i o velkých komplikacích při rozpojení a následném odtěžování, kdy dochází k vysokému opotřebení celé technologie. Zkoušky hornin na abrazivitu nejsou součástí standardního IGP, nicméně abrazivita má podstatný vliv na průběh mikrotunelování a je tedy nutné ji považovat za nepředvídatelnou přírodní překážku, která ovlivní náklady stavebních prací.



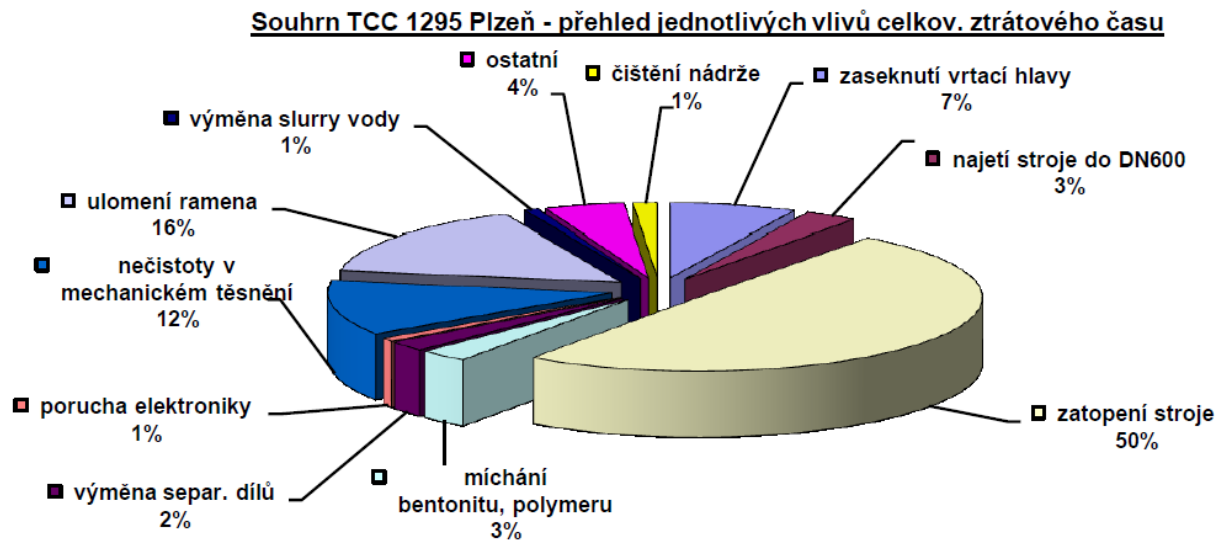
Obr. 18 Ukázka vysokoabrazivního křemence

9.2 Protipovodňová opatření

Pro budoucí stavby, které se vyskytují v blízkosti řek, nebo přímo v záplavovém území, by bylo vhodné již od začátku projektu počítat s variantou havarijního plánu. Ten by měl spočívat ve vypracování protipovodňových opatření. Mohlo by se například jednat o instalaci protipovodňových vaků, nebo dokonce celých stěn, k dostatečné ochraně stavebních jam včetně technologie. Tyto prvky by se využily při ohlášení III. povodňového stupně.

Došlo by ke zvýšení nákladů, ale pokud by povodeň nedosahovala několikaletých maxim a použitá protipovodňová opatření by byla dostatečná, v důsledku by tyto opatření mohly přinést velkou úsporu financí, protože by se ušetřilo na nákladech za nutnou opravu zatopeného stroje a také značné zkrácení ztrátových časů spojených s opravou.

Ztrátový čas způsobený povodní dosáhl při ražbě v profilu DN 1000 mm během I. etapy přesně polovinu všech ztrátových časů. Jedná se o důležitý faktor, který by měl být pro budoucí stavby v podobných podmínkách ponaučením a neměl by být brán na lehkou váhu.



Obr. 19 Přehled ztrátových časů během realizace I. etapy [27]

9.3 Návrh inženýrsko-geologického průzkumu

Při průzkumu pro I. etapu bylo celkem vytvořeno 23 jádrových průzkumných vrtů na délku 3255 m. Při II. etapě bylo provedeno 5 vrtů a v rámci doplňkového průzkumu přibýlo 10 dalších vrtů. Dohromady 15 vrtů na délku 3442 m.

Dále pro obě etapy byl použit geofyzikální průzkum. Pro I. etapu byl využit ve dvou úsecích o celkové délce 470 m. Ve II. etapě bylo geofyzikálního průzkumu využito až v doplňkovém průzkumu v délce 1020 m.

Vzhledem k rozsahu stavby a náročných podmínek by bylo vhodnější realizovat více jádrových průzkumných vrtů, které by měly být provedeny nejen v místech startovacích a dojezdových šachet, ale také přibližně v polovině každého úseku. Vznikl by tak velice podrobný geologický řez, který by byl především velmi přesný a mohl by pomoci odhalit výskyt anomálií nacházejících se v trase kanalizačního sběrače.

Vrty by mohly být doplněny o geofyzikální průzkum. Tato nepřímá metoda zjišťování horninového prostředí má své příznivce i odpůrce. Někteří odborníci ji považují za stěžejní metodu pro určování geologických podmínek, druzí ji odsuzují a berou ji na lehkou váhu. V hloubkách do 6 m ovšem podává docela přesný obraz o průběhu kvazihomogenních celků, podle kterých lze určit problematická místa.

Cílem IGP by mělo být nalezení pokud možno všech informací potřebných ke správné volbě technologie. V případě ÚKS zvolení technologie mikrotunelování nebylo šťastné z důvodu výskytu rozhraní štěrkových teras a podložních břidlic po značné délce osy kanalizace. Ve II. etapě se navíc objevily nepředvídatelně se vyskytující bulžníky, které by ani velice dobře provedený IGP nemusel objevit.

9.4 Závěrečné shrnutí

Největší problém obou etap byl spojen s přesným popisem geologického prostředí. Jindy by se dal označit provedený IGP za dostačující, ale projekt ÚKS je výskytem velmi tvrdých a abrazivních hornin unikátní.

Pro technologii mikrotunelování je nejdůležitějším parametrem pevnost hornin v prostém tlaku. V I. etapě se vyskytly ojedinělé místa s přítomností spilitů třídy R2 a břidlic třídy R3. V zadávací dokumentaci se předpokládaly horniny do třídy R4, což vedlo k volbě technologie mikrotunelování za použití zeminové razící hlavy. Tato volba byla na základě této zadávací dokumentace správná.

II. etapa byla prováděna ve velice podobné geologii, ovšem největší problém byl spojen s křemičitým prachem, který se ve výplachovém médiu měnil na silně abrazivní pastu způsobující častější výměnu součástek. Dalším rozdílem oproti I. etapě byla ražba na rozhraní štěrku a pevných hornin vedoucí skoro až k neřiditelnosti stroje.

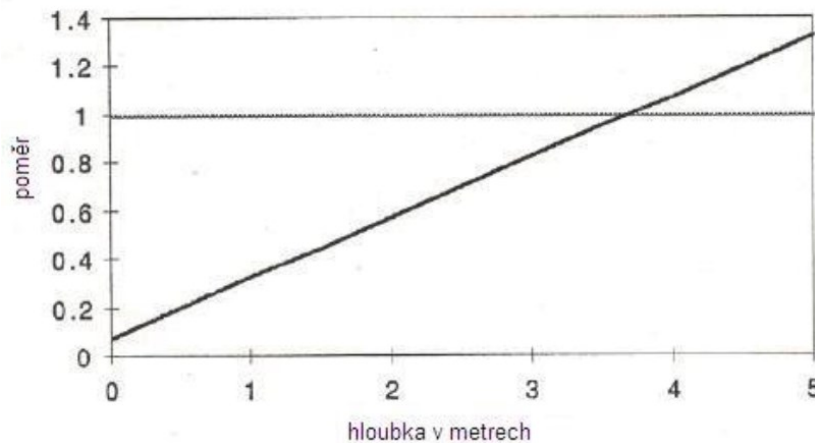
Pro použití mikrotunelingu je zásadní nalezení úseků s výskytem tvrdých hornin a lokalizování anomálií typu lokálních trhlin vyplněných vyvřelými horninami a vysokým stupněm prokřemenění. Jedná se o zásadní informace nutné ke vhodné volbě technologie.

U II. etapy se navíc podcenilo získaných zkušeností z realizace I. etapy. Konkrétně se jednalo o velké náklady spojené s údržbou nebo velké množství ztrátových časů. Tyto fakta jsou k dispozici a při lepší úvaze nemuselo dojít k problémům a následným soudním sporům.

10 EKONOMICKÉ OKOLNOSTI

Důležitým kritériem pro volbu technologie jsou finanční náklady, které mohou při použití bezvýkopové technologie znamenat velice výhodnou variantu. Pro srovnání ceny při použití mikrotunelování a ukládání trub pomocí otevřeného výkopu je rozhodující hloubka uložení kanalizačního potrubí.

Poměr nákladů na otevřený výkop k mikrotunelování při dlážděném povrchu



Obr. 20 Porovnání ceny mikrotunelování a otevřeného výkopu [28]

Tento graf ovšem platí jen pro optimální podmínky. Neuvažuje výskyt nepředpokládaných překážek. Problémem I. etapy byla vysoká úroveň spodní vody, kdy po odebrání zeminy došlo k okamžitému zatopení vyhloubené rýhy. Tento problém se samozřejmě negativně promítl do celkových nákladů úseků realizovaných otevřeným výkopem.

Pro porovnání vybraných úseků I. etapy ÚKS z hlediska nákladů byly použity podklady od dodavatelských firem. Následně byl zvolen vybraný úsek, který byl realizován mikrotunelováním a porovnán s vybraným úsekem provedeným otevřeným výkopem. Po započítání všech nákladů vyšla cena pro 1 běžný metr na 48 245 Kč v případě mikrotunelování a ve druhém případě 51 038 Kč pro otevřený výkop. Čísla jasně hovoří pro mikrotunelování, ale je potřeba si uvědomit jedinečnost každého úseku. Oba úseky se lišily v mnoha faktorech, např. hloubka osy vedení kanalizace, geologické podmínky nebo třeba náklady spojené na mzdy v závislosti na počtu pracovníků [22].

II. etapa ÚKS měla podle odhadů města Plzeň dosahovat částky 180 mil. Kč včetně DPH. Toto číslo je v současné době již překročeno a není zdaleka konečné. V době, kdy byla zhotovována tato diplomová práce, nebylo jasné kdy a jakou technologií bude dokončen zbývající úsek.

Vlivem velice špatné geologie vede investor s dodavatelem stavby soudní spor o vyplacení víceprací. Autor diplomové práce vidí největší problém ve špatně vypracovaném rozpočtu a tedy cenové nabídce ze strany zhotovitele. Celkové náklady mikrotunelovacích prací se skládají obvykle z jedné třetiny z vypočítaných nákladů strojních, zbylé dvě třetiny tvoří mzdové náklady a náklady na materiál. S přidáním zisku a režii provádějící firmy můžeme odhadovat konečnou cenu mikrotunelovacích prací na přibližně 35 000 Kč na 1 b. m. Tato tabulková hodnota ovšem neuvažuje s proměnlivostí prostředí, která byla v případě II. etapy navíc zastižena na rozhraní šterku a horniny. Rozpočtář tento důležitý fakt neuvažoval a předložil cenovou nabídku mimo reálné hodnoty, která byla kalkulována pro prostředí zeminové až maximálně poloskalní. Obecně se v literatuře udává, že mikrotuneling skalní hlavou bývá o cca 1 / 3 dražší. Vlivem výskytu tvrdých hornin je toto číslo v případě 2. etapy ÚKS jistě větší.

Výstavba otevřeným výkopem v nízkých hloubkách představuje levnější variantu ve většině případů. Vlivem výstavby v nivě řeky Úslavy je tato technologie nákladnější vlivem vysokých přítoků a již zmiňované složité geologie. Volba technologie mikrotunelování pro I. i II. etapu ÚKS by byla výhodnější, bohužel vlivem nečekaných anomálií se několikanásobně prodražila vlivem hloubení záchranných šachet, vysokým stupněm opotřebení nebo vlivem povodně.

Při vytváření rozpočtu v závislosti na doplňkovém IGP by se pravděpodobně od mikrotunelování upustilo vlivem značných nákladů a již od počátku II. etapy by se použil jiný způsob, kterým by se měl zbytek stavby dokončit. V době psaní této práce technologie provádění nebyla známa, vše je ve fázi projektu. Jednou z možných variant je použití otevřeného výkopu zajištěného štětovnicemi Larsen nebo tryskovou injektáží. Vzhledem k podmínkám lze odhadovat náklady na tuto technologii ještě vyšší než u mikrotunelingu.

11 ZÁVĚR

Použitou technologii mikrotunelování pro část realizovaných prací bylo nutné modifikovat použitím dodatečných úprav na použitých řezných hlavách. I přes tyto snahy se nepodařilo vyhnout značným problémům vlivem vedení trasy na rozhraní zemin se skalním podložím. Navíc se objevily velmi pevné horniny na obou etapách - spility a bulžníky. Horniny vykazovaly vysokou pevnost v tlaku a extrémní abrazivitu. Tyto dva parametry jsou pro technologii mikrotunelování stěžejní a výrazně se projeví do nízkých dosažených postupů.

I. etapa ÚKS byla poznamenána povodní. Pro budoucí výstavbu by mohla být součástí havarijního plánu varianta, kdy se nejpozději při vyhlášení III. povodňového stupně budou instalovat protipovodňové stěny, nebo vaky, které za cenu zvýšení nákladů ochrání technologii, přičemž by se náklady i tak zvýšily v závislosti na poškození technologie vlivem zatopení. Při odstraňování poruch také dochází ke ztrátovým časům, kterým by se tímto opatřením předešlo.

Při realizaci II. etapy ÚKS měl být kladen větší důraz při rozhodování, kterou technologii použít již od prvních metrů II. etapy. Na základě zkušeností z výstavby I. etapy a doplňkového průzkumu provedeného pro II. etapu bylo známo dost informací ke správné volbě technologie. Byla zvolena technologie mikrotunelování na základě nepřesného nacenění prací, kdy rozpočet byl stanoven pro mnohem příznivější geologické podmínky, než které byly při realizaci zastiženy. Způsob tvorby cenové nabídky II. etapy za použití mikrotunelingu byl podhodnocený. Tato stavba jasně ukázala důležitost tvořit ceny dle specifických podmínek a nevycházet z tabulkových hodnot. Zakázku vyhrála firma, která nabízela nejnižší cenu vlivem podcenění známých faktů. Došlo k tragickým následkům - soudní spory o více práce vedoucí až k zastavení stavebních prací. V tomto stádiu se stavba nemusela ocitnout, kdyby se vycházelo ze zdravého selského rozumu, faktů získaných během realizace I. etapy a ne z vidiny co největšího zisku.

V průběhu mikrotunelovacích prací na ÚKS v Plzni se vyskytla nutnost reagovat na řadu geologických anomálií, které nemohly být zachycené standardně prováděným IG průzkumem, ale měly podstatný vliv na průběh mikrotunelování a je tedy nutno je považovat za nepředvídatelné přírodní překážky, které ovlivnily náklady stavebních prací.

Cílem diplomové práce je přiblížit problémy spojené s ražbou v extrémních podmínkách. Mikrotuneling je v současné době čím dál více používaná metoda pro výstavbu kanalizace. Její předností jsou velmi dobré pracovní postupy, které se projevují nízkými náklady a vysokým ziskem. Bohužel stavba I. a II. etapy ÚKS patří do výjimky potvrzující pravidlo a poukazuje na zrádnosti ražby ve velice nevhodných podmínkách pro tuto jindy velice efektivní technologii.

Seznam použitých pramenů

Literatura

- [4] TYCOVÁ, M. *Úslavský kanalizační sběrač, 2. etapa - oznámení EIA*. Plzeň. Znalecký posudek, červen 2008.
- [5] ZLÁMAL, J. *Úslavský kanalizační sběrač, 2. etapa 1. část. Kanalizace v hloubené rýze*. Praha. Projektová dokumentace, duben - květen 2015.
- [6] ZÍTKO, T. *Úslavský kanalizační sběrač v Plzni - 2. etapa*. Tunel: Časopis České tunelářské asociace a Slovenskej tunelárskej asociácie ITAAITES. Praha, roč. 2015, č. 2.
- [7] TLAMSA, J. *Zpráva o výsledcích inženýrskogeologického průzkumu pro přípravu projektu „Čistá Berounka - etapa II. Lokalita č.6: Úslavský sběrač*. Praha. Projektová dokumentace, duben 2010.
- [14] PEKO, M. *Plzeň Božkov – Koterov, Úslavský kanalizační sběrač – 2. etapa, inženýrskogeologický průzkum. Závěrečná zpráva*. Pardubice: SUDOP Pardubice, s. r. o., září 2011.
- [16] PEKO, M. *Plzeň Božkov – Koterov, Úslavský kanalizační sběrač – 2. etapa. Příloha č.4 - výsledky laboratorních rozborů vzorků zemin a vody*. Pardubice: SUDOP Pardubice, s. r. o., září 2011.
- [17] ZEMÁNEK, I. *Závěrečná zpráva geofyzikálního průzkumu, Úslavský kanalizační sběrač - 2. etapa, 1. fáze*. Praha: SAMSON Praha, s. r. o., leden 2015.
- [22] PETŘÍKOVÁ, V. *Návrh mikrotunelování II. etapy výstavby Úslavského kanalizačního sběrače v Plzni*. Ostrava, 2012. 63 s., Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství. Vedoucí práce doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.
- [24] KRATOCHVÍL, P. *Pracovní postup demontáže stroje ISEKI na čelbě*. Plzeň: SUBTERRA, březen 2013.

[25] FIALA, T. *Úslavský sběrač v Plzni, srovnání bezvýkopové technologie s otevřeným výkopem*. Firemní materiály.

[27] FRANCZYK, K. *Souhrn Iseki TCC 1295*. Plzeň: SUBTERRA, březen 2013.

[28] FRANCZYK, K. *Vybrané problémy mikrotunelování*. Ostrava, 2008. 108 s., 16 s. příl. Disertační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství. Vedoucí práce prof. Ing. Aldorf Josef, DrSc.

Elektronické publikace

- [1] ČISTÁ BEROUNKA – ETAPA II. Projekt Čistá Berounka – etapa II. Dostupné z:
http://www.cistaberounka-etapa2.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=54
- [2] ODBOR SPRÁVY INFRASTRUKTURY MAGISTRÁTU MĚSTA PLZNĚ. Priority vodohospodářských staveb města Plzně. Dostupné z:
https://usneseni.plzen.eu/bin_soubor.php?id=267486&t=p
- [3] VODÁRNA PLZEŇ a. s. Plzeňská kanalizace. Dostupné z:
<http://www.vodarna.cz/plzenska-kanalizace.html>
- [18] VALTR, V. *Zpráva o geofyzikálním průzkumu lokality Třinec - Horní Líštná, příloha č.5.* Brno: K-GEO s. r. o., březen 2003. Dostupné z:
<http://geologie.vsb.cz/svadef/zaverecne%20zpravy/Dolni%20Listna/geofyzika/geofyzika.htm>
- [19] KOUBOVÁ, H. *Využití mělkého refrakčního a reflexního seismického profilování v geologii.* Olomouc, 2012. 60 s., 16 s. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Přírodovědecká fakulta, Katedra Geologie. Vedoucí práce doc. Mgr. Ondřej Bábek, Dr. Dostupné z: http://theses.cz/id/wr7cl8/Bakalsk_prce_-_Hana_Koubov.pdf
- [20] ASST. Poradenská firma v oblasti geofyzikálního průzkumu. Firemní materiály. Dostupné z:
<http://asstgroup.com/techniques.html>
- [21] KLANICA, R. Užitá geofyzika. Elektronická publikace. Dostupné z:
<http://www.geofyzika.webz.cz/elmagel.php>

Normy a legislativa

[8] ČSN EN ISO 22 475-1 (721011) - Geotechnický průzkum a zkoušení. Odběry vzorků a měření podzemní vody - Část 1: Zásady provádění.

[9] ČSN 73 1001 (731001) - Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy.

[10] ČSN EN ISO 14 688-2 (72 1003) Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařizování zemin - Část 2: Zásady klasifikace.

[11] ČSN EN 206-1 Beton – část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.

[12] MD ČR, TP-76: Geotechnický průzkum pro pozemní komunikace. Část A – Zásady geotechnického průzkumu. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%2076A.pdf>

[13] MD ČR, TP 170: Navrhování vozovek pozemních komunikací. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%20170.pdf>

[15] ČSN EN ISO 22476-2 - Geotechnický průzkum a zkoušení - část 2: Dynamická penetrační zkouška.

[23] Vyhláška ČBÚ č. 55/1996 Sb. *Vyhláška o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí.* Dostupné z: www.cbub.cz/docs/1996-055_265_2012.doc

[26] ON 44 1121/81 1982. Oborová norma - Pevné horniny, Stanovení abrazivnosti, Federální ministerstvo palív a energetiky Praha, VVÚV Ostrava – Radvanice, 1982.

Seznam obrázků

Obr. 1 Řez historickou kanalizací [3].....	11
Obr. 2 Schéma mikrotunelovací soustavy [6]	14
Obr. 3 Schéma použitých řezných hlav [6]	16
Obr. 4 Tlačná souprava [6].....	18
Obr. 5 Řídící kabina a separační soustava na povrchu [6]	21
Obr. 6 Vrtný výnos ze sondy US V1 (6.00 - 0.00 m) [16].....	32
Obr. 7 Vylomení řezného hrotu na vrtné korunce [17]	39
Obr. 8 Refrakce vlny v nehomogenním prostředí [19]	40
Obr. 9 Vyhodnocení seismického rychlostního řezu (profil č. 5) [17].....	42
Obr. 10 Princip metody DEMP (anglicky Shallow Electromagnetic Induction) [20]	43
Obr. 11 Bezkontaktní měření přístrojem CMD - 4 využívající metodu DEMP [21].....	44
Obr. 12 Mapy izolinií zdánlivého měrného odporu ρ_z (šachta Š 90 až Š 91) [17].....	45
Obr. 13 Použité razící hlavy I. etapy - vlevo zeminová, vpravo poloskalní hlava [22]	48
Obr. 14 Rozvodněná řeka Úslava [25]	49
Obr. 15 Upravená řezná hlava TCC po vytažení	53
Obr. 16 Stav dláta po vyražení asi 70 m úseku	53
Obr. 17 Nová souprava opatřená TCC-R řeznou hlavou	54
Obr. 18 Ukázka vysokoabrazivního křemence.....	59
Obr. 19 Přehled ztrátových časů během realizace I. etapy [27]	60
Obr. 20 Porovnání ceny mikrotunelování a otevřeného výkopu [28]	62

Seznam tabulek

Tab. 1 - Zatřídění odebraných vzorků [5]	23
Tab. 2 – Přehled geotechnických typů včetně těžitelnosti	26
Tab. 3 – Rozdělení zemin a hornin dle vrtatelnosti.....	27
Tab. 4 – Ukázka vyhodnocení dynamické penetrační zkoušky	31
Tab. 5 – Zatřídění navážek dle geotechnických vlastností.....	33
Tab. 6 – Zatřídění humózních zemin dle geotechnických vlastností	34
Tab. 7 – Zatřídění zemin holocenního pokryvu dle geotechnických vlastností.....	34
Tab. 8 – Zatřídění pleistocenních zemin dle geotechnických vlastností.....	35
Tab. 9 – Zatřídění proterozoických hornin dle geotechnických vlastností	36
Tab. 10 – Klasifikace zastižených hornin a jejich těžitelnost	39

Seznam příloh

Příloha 1 – Podrobná situace I. etapy (elektronická verze)

Příloha 2 – Situace II. etapy (elektronická verze)

Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Karlu Vojtasíkovi, CSc., vedoucímu diplomové práce, za odborné vedení a cenné rady. Rovněž děkuji panu Ing. Karlu Franczykovi, Ph.D. za poskytnutí materiálů a pomoc při jejich zpracování, za jeho ochotu a čas, který mi věnoval. Děkuji také své rodině a nejbližším přátelům za podporu během celého studia.